



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave

ING3060

### Predefinert informasjon

|                       |   |                        |                            |
|-----------------------|---|------------------------|----------------------------|
| <b>Startdato:</b>     | 30-04-2019 16:31                                      | <b>Termin:</b>         | 2019 VÅR                   |
| <b>Sluttdato:</b>     | 08-05-2019 14:00                                      | <b>Vurderingsform:</b> | Norsk 6-trinns skala (A-F) |
| <b>Eksamensform:</b>  | Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon |                        |                            |
| <b>SIS-kode:</b>      | 203 ING3060 1 BOPPG 2019 VÅR Haugesund                |                        |                            |
| <b>Intern sensor:</b> | (Anonymisert)   |                        |                            |

### Deltaker

**Kandidatnr.:** 102

### Informasjon fra deltaker

**Tittel \*:** Ingeren i adeling beregnet for tvungent psykisk helsevern  
**Engelsk tittel \*:** Ingeren in Department Intended for Compulsory Mental Health Care  
**Egenerklæring \*:** Ja **Inneholder besvarelsen Nei**  
**konfidensiell materiale?:**

**Jeg bekrefter at jeg har Ja**  
**registrert oppgavetittelen**  
**på norsk og engelsk i**  
**StudentWeb og vet at**  
**denne vil stå på**  
**vitnemålet mitt \*:**

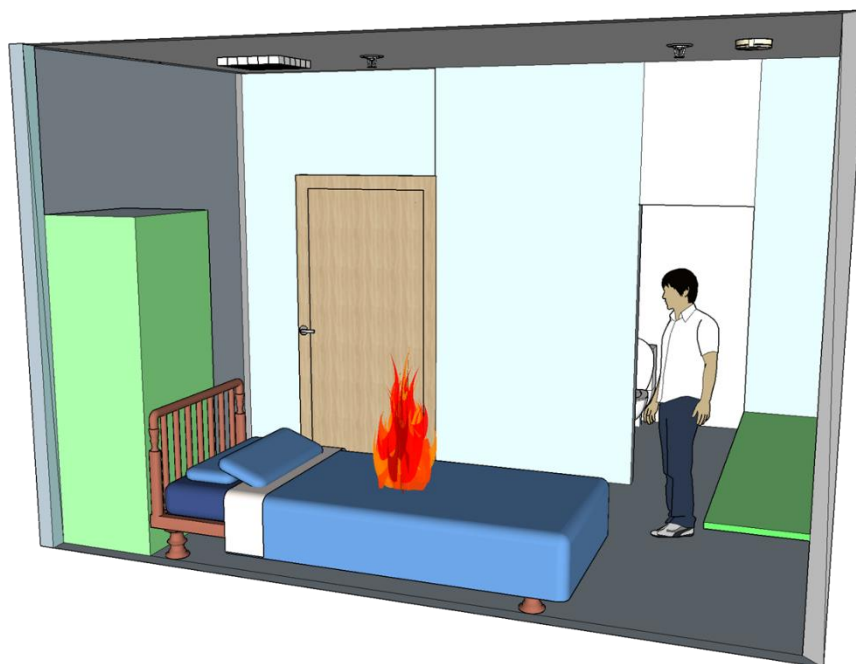
### Gruppe

**Gruppenavn:** (Anonymisert)  
**Gruppenummer:** 2  
**Andre medlemmer i gruppen:** 103, 101

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

# Inergen i avdeling beregnet for tvungent psykisk helsevern



Hovedprosjekt utført ved  
Høgskulen På Vestlandet – Campus Haugesund – Ingeniørfag

---

*Studieretning: Brann & KMHS*

|             |                         |                  |
|-------------|-------------------------|------------------|
| Skrevet av: | Haakon Lindøe           | Kandidat nr. 103 |
|             | Kenneth Fagerheim Åmodt | Kandidat nr. 102 |
|             | Tommy Lervik            | Kandidat nr. 101 |

---

*Haugesund*

*Våren 2019*

# BACHELORPROSJEKT

**Studenten(e)s navn:** Haakon Lindø  
Kenneth Fagerheim Åmodt  
Tommy Lervik

---

**Linje & studieretning** Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet & KHMS

**Oppgavens tittel:** *Inergen i avdeling beregnet for tvungent psykisk helsevern.*

## Oppgavetekst:

En påsatt brann i et pasientrom kan skape flere utfordringer knyttet til den tekniske og organisatoriske delen av en psykiatrisk avdeling. Vannbaserte slokkesystem er mest anvendt i institusjoner, men det kan føre til lang nedetid dersom utløst; det vil bli nødvendig å vaske ut og begrense vannskader, pasienten kan ikke oppholde seg på rommet i mellomtiden, som igjen fører til plassproblemer.

Evakuering av pasienter innen tvungent psykisk helsevern medfører flere utfordringer, fordi dette er pasienter som regnes som farlige for samfunnet og kan derfor ikke forlate sykehuset. Dersom pasientrommet er ubeboelig over lengre tid, må pasientene omplasseres til tilsvarende institusjoner, evt et fengsel, noe som kan skape både etiske problemer samt kapasitetsutfordringer.

Oppgaven har til formål å vurdere om et slokkesystem basert på gasslokking med inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler. Oppgaven begrenses til å sammenligne forholdene i et typisk pasientrom ved en påsatt brann hvor de nevnte systemene er benyttet. Vurdering av systempålitelighet eller de fysiologiske effektene av gasslokkesystemer inngår ikke oppgaven. Oppgaven baseres på forsøk, kvalitative undersøkelser og en risikovurdering for å kunne vurdere fordeler og ulemper ved bruk av et slokkesystem basert på inergen i et pasientrom, hvor det blir sett på effekten av sprinkleranlegg og inergen. Forsøkene har til hensikt å kartlegge hvor lenge det er mulig å oppholde seg i pasientrommet før det oppstår kritiske forhold med tanke på røykgasser og tilgang på oksygen for de to ulike slokkeanleggene.

**Endelig oppgave gitt:** 1. mars 2019

**Innleveringsfrist:** Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00

**Intern veileder:** Kristian Grimstvedt

**Ekstern veileder:** Øyvind Thoresen

**emailadresse ekstern veileder:** oyvind.thoresen@stolav.no

**Godkjent av**

**studieansvarlig:** *Fredrik Henningsen*

**Dato:** *30/4-19*

Høgskolen på Vestlandet

Campus Haugesund

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

|   |                |  |
|---|----------------|--|
| Oppgavens tittel  |                | Rapportnummer                          |
| <i>Inergen i avdeling beregnet for tvungent psykisk helsevern</i> |                | <i>(Fylles ikke ut)</i>                |
| Utført av   |                |  |
| Haakon Lindøe<br>Kenneth Fagerheim Åmodt<br>Tommy Lervik          |                |  |
| Linje   |                | Studieretning                          |
| Sikkerhet, Brannteknikk & KHMS                                    |                | Ingeniør                               |
| Gradering   | Innlevert dato | Veiledere                              |
| Åpen  | 08.05.2019     | Kristian Grimstvedt<br>Øyvind Thoresen |

**Ekstrakt**

St. Olavs hospital i Trondheim bygger en ny sikkerhetsavdeling hvor Inergen ble vurdert som en alternativ løsning til sprinkler, men dette ble ikke realisert. Likevel var det fra deres side interessant å belyse hvilke fordeler Inergen kunne ha for avdelingen, sammenlignet med det mer tradisjonelle sprinkleranlegget.

Formålet med denne oppgaven er å vurdere om Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkleranlegg. Vurderingen baserer seg med bakgrunn i en kvalitativ metode, risikovurdering og fullskala brannforsøk.

Inergen ble vurdert til å kunne være et bedre alternativ enn sprinkler for å redusere risiko for driftsforstyrrelser ved brann på pasientrom. Med hensyn til personsikkerhet vurderes Inergen adekvat på bakgrunn av de gjennomførte brann forsøkene. Tidlig røykdeteksjon er vesentlig for personsikkerheten i et pasientrom, Inergen-anleggets aktiveringsprinsipp vil da gi en fordel ovenfor sprinkleranlegg. Basert på forsøksresultatene og risikovurdering konkluderes det med at Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkleranlegg.

## FORORD

---

Denne tverrfaglige bacheloroppgaven er utført som en avsluttende del av en treårig ingeniørstudie innen brannsikkerhet og K&HMS ved Høgskulen på Vestlandet, campus Haugesund. Oppgaven består av denne rapporten, et produkt, en plakat samt. en presentasjon.

I forbindelse med veiledning og hjelp til bacheloroppgaven ønsker vi å takke:

Intern veileder Kristian Grimstvedt ved HVL og ekstern veileder Øyvind Thoresen ved St. Olavs hospital for god og konstruktiv veiledning gjennom prosessen.

Tore Johan Breivik for hjelp med informasjon om sikkerhetsavdelingen ved St. Olavs hospital.

Arjen Kraaijeveld ved HVL for hans konstruktive tilbakemeldinger, engasjement og hjelp i forbindelse med byggingen av testrommet i Hall of Flame.

Vibeke Hop ved Stavanger Universitetssjukehus for at vi fikk madrasser og tøy til brannforsøkene.

Per Arne Lindvik ved Kiwa for utlån av spesialnøkkel til sprinklerhoder

Andre Strømmen ved Ingeniørfirmaet L S Solland AS avd. Haugesund for at vi fikk ventilasjonsdeler til det praktiske forsøket.

## SAMMENDRAG

---

St. Olavs hospital i Trondheim bygger en ny sikkerhetsavdeling hvor Inergen ble vurdert som en alternativ løsning til sprinkler, men dette ble ikke realisert. Likevel var det fra deres side interessant å belyse hvilke fordeler Inergen kunne ha for avdelingen, sammenlignet med det mer tradisjonelle sprinkleranlegget. Formålet med oppgaven er å vurdere om et slokkeanlegg basert på Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler.

En kvalitativ metode ble brukt til å innhente informasjon som en del av en risikovurdering. Risikoanalysen identifiserte relevante brannscenarier til oppgaven hvor det ble utført fullskala brannforsøk for å avdekke når det oppstår kritiske forhold i pasientrommet. Resultatene og observasjonene fra forsøkene ble brukt som datagrunnlag for å vurdere mulige konsekvenser ved en påsatt brann i et pasientrom. Oppgaven tar for seg to aktuelle brannscenarier i et pasientrom; en påsatt brann i klesskap og en påsatt brann i madrass. I risikoanalysen ble personsikkerhet, driftsforstyrrelser og økonomiske konsekvenser vurdert i scenariene.

Gjennom risikoevalueringen vurderte analysegruppen Inergen som en alternativ løsning basert på resultatene fra risikoanalysen. Inergen ble vurdert til å kunne være et bedre alternativ enn sprinkler for å redusere risiko for driftsforstyrrelser ved brann på pasientrom. Med hensyn til personsikkerhet vurderes Inergen adekvat på bakgrunn av de gjennomførte brann forsøkene. Inergen vurderes å kunne medføre noe høyere risiko for økonomiske konsekvenser enn sprinkler.

Resultatene fra fullskala brannforsøk viser at en påsatt brann i skap kan føre til kritiske forhold med hensyn til sikt, da røyktheteten ved hodehøyde er kritisk før slokkesystemene utløser. Ved påsatt brann i madrass oppstår det ikke kritiske forhold, gitt at slokkesystemene utløses. Inergen egner seg bedre enn sprinkler i dette scenariet, da brannenergien ikke vil være stor nok til å utløse sprinkleranlegget.

Inergen vil forårsake mindre nedetid om utløst og er avhengig av røykdeteksjon for å utløse. Tidlig røykdeteksjon er vesentlig for personsikkerheten i et pasientrom, da røykvarsleren er det første som aktiveres. Dette gjør personalet på avdelingen i stand til å handle tidlig i brannforløpet. Inergen-anleggets aktiveringsprinsipp foretrekkes fremfor sprinkler. Det konkluderes derfor med bakgrunn i forsøksresultatene og risikovurderingen at Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler.

## INNHOOLD

---

|   |    |
|---|----|
| Forord .....  | i  |
| Sammendrag .....                                    | ii |
| Tabell, figur og bildeoversikt .....                | v  |
| Definisjoner og begreper .....                      | ix |
| 1 Innledning .....                                  | 1  |
| 1.1 Bakgrunn .....                                  | 1  |
| 1.2 Mål .....                                       | 1  |
| 1.3 Begrensninger .....                             | 2  |
| 2 Teori .....                                       | 3  |
| 2.1 Brannteori .....                                | 3  |
| 2.1.1 Brannfirkanten .....                          | 3  |
| 2.1.2 Faseoverganger .....                          | 3  |
| 2.1.3 Brennbarhetsgrenser .....                     | 4  |
| 2.1.4 Rombrann .....                                | 5  |
| 2.2 Hvordan giftige gasser påvirker mennesker ..... | 6  |
| 2.3 Akseptkriterier for tålegrenser .....           | 8  |
| 2.3.1 Sikt .....                                    | 8  |
| 2.3.2 Varmepåkjenning fra røykgasser .....          | 9  |
| 2.4 Sprinkler .....                                 | 10 |
| 2.4.1 Virkemåte .....                               | 11 |
| 2.4.2 Fordeler og ulemper med sprinkler .....       | 11 |
| 2.5 Inergen .....                                   | 12 |
| 2.5.1 Virkemåte .....                               | 13 |
| 2.5.2 Anlegget .....                                | 14 |
| 2.5.3 Fordeler og ulemper med Inergen-anlegg .....  | 15 |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.6   | Risiko .....                           | 16 |
| 2.6.1 | Risikovurderingsprosess.....           | 17 |
| 2.6.2 | Risikoanalyse .....                    | 17 |
| 2.6.3 | Risikoevaluering.....                  | 17 |
| 3     | Metode.....                            | 18 |
| 3.1   | Litteraturstudie .....                 | 18 |
| 3.2   | Kvalitativ metode .....                | 19 |
| 3.2.1 | Kvalitativ intervju .....              | 19 |
| 3.2.2 | Kvalitativ dataanalyse .....           | 19 |
| 3.3   | Risiko vurdering .....                 | 20 |
| 3.4   | Metode for forsøk.....                 | 21 |
| 3.4.1 | Valg av brannscenario .....            | 22 |
| 3.4.2 | Brannscenario A .....                  | 22 |
| 3.4.3 | Brannscenario B .....                  | 23 |
| 3.4.4 | Utførelse .....                        | 24 |
| 4     | Oppsett av forsøkene .....             | 26 |
| 4.1   | Testrommet.....                        | 26 |
| 4.2   | Ventilasjon .....                      | 27 |
| 4.3   | Sprinkler.....                         | 27 |
| 4.4   | Inergen.....                           | 28 |
| 4.4.1 | Holdetid test .....                    | 28 |
| 4.5   | Instrumentering .....                  | 29 |
| 4.6   | Plassering av måleinstrumentering..... | 30 |
| 4.7   | Tennkilde.....                         | 31 |
| 5     | Resultat for forsøk .....              | 32 |
| 5.1   | Brannscenario A .....                  | 32 |
| 5.1.1 | Temperaturmålinger .....               | 33 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Røyktetthet og sikt under røyklag .....             | 36 |
| 5.1.3 | CO-målinger .....                                   | 37 |
| 5.2   | Brannscenario B .....                               | 38 |
| 5.2.1 | Temperaturmålinger .....                            | 39 |
| 5.2.2 | Røyktetthet og sikt under røyklag .....             | 42 |
| 5.2.3 | CO-målinger .....                                   | 44 |
| 6     | Analysen .....                                      | 46 |
| 6.1   | Mål for risikoanalysen .....                        | 46 |
| 6.2   | Fareidentifikasjon og uønskede hendelser .....      | 46 |
| 6.3   | Analyse av årsaker og sannsynlighet. ....           | 47 |
| 6.4   | Konsekvensanalyse .....                             | 48 |
| 6.4.1 | Identifisering av barrierer .....                   | 49 |
| 6.4.2 | Konstruksjon av hendelsetre .....                   | 49 |
| 6.4.3 | Konsekvensvurdering .....                           | 51 |
| 6.5   | Resultater og beskrivelse av risiko .....           | 52 |
| 6.6   | Usikkerhet i analysen .....                         | 55 |
| 6.6.1 | Alle uønskede hendelser blir ikke avdekket .....    | 55 |
| 6.6.2 | Modell og metode usikkerhet .....                   | 56 |
| 6.6.3 | Data usikkerhet .....                               | 56 |
| 6.6.4 | Konsekvensusikkerhet .....                          | 56 |
| 6.6.5 | Usikkerhet på grunn av tids- og kostnadspress. .... | 56 |
| 6.6.6 | Usikkerhet på grunn av manglende kompetanse .....   | 57 |
| 7     | Diskusjon .....                                     | 58 |
| 7.1   | Forsøksmetode og resultater .....                   | 58 |
| 7.1.1 | Oppsett .....                                       | 58 |
| 7.1.2 | Resultater scenario A .....                         | 60 |
| 7.1.3 | Resultater brannscenario B .....                    | 63 |

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| 7.2   | Risikoevaluering.....   | 65    |
| 7.2.1 | Personsikkerhet .....   | 66    |
| 7.2.2 | Driftsforstyrrelse .....  | 67    |
| 7.2.3 | Økonomiske konsekvenser.....  | 68    |
| 7.2.4 | Oppsummering risikoevaluering .....   | 68    |
| 7.3   | Videre arbeid .....   | 69    |
| 8     | Konklusjon .....  | 70    |
| 9     | Referanser.....   | 71    |
|       | Vedlegg A - Måling av relativ fuktighet, omgivelsestemperatur og støy. .... | I     |
|       | Vedlegg B – Informasjon om instrumentering.....                             | II    |
|       | Vedlegg C – Temperaturmålinger fra forsøkene.....                           | IV    |
|       | Vedlegg D – IMT-beregninger for holdetid test .....                         | XVII  |
|       | Vedlegg E - Sjekkliste .....  | XXI   |
|       | Vedlegg F – Innledende analyse .....  | XXIII |
|       | Vedlegg G – Identifisering av barrierer .....                               | XXIV  |
|       | Vedlegg H - Kvalitativ vurdering av konsekvens .....                        | XXV   |

## TABELL, FIGUR OG BILDEOVERSIKT

---

|  |    |
|--|----|
| Figur 1. Brannfirkanten [4]. .....   | 3  |
| Figur 2. Faseoverganger [4]. .....   | 4  |
| Figur 3. Brennbarhetsgrenser [4]. .....  | 4  |
| Figur 4. Brannforløp i en rombrann [4]. .....  | 5  |
| Figur 5 Skisse over hovedkomponentene som inngår i et sprinkleranlegg. Hentet fra Byggforskserien 550.361 [13]. .....  | 10 |
| Figur 6 Skisse over installasjon med en gassylinder, hentet fra Fire Eater A/S manual for Inergen [24]. .....  | 14 |
| Figur 7 Forenklet oversikt over hva som inngår i en risikovurdering som blir gjennomført... 20   |    |
| Figur 8. Plan visning av forsøksrom med installasjoner. ....   | 26 |
| Figur 9. Holdetidstest. Diagrammet viser målte oksygenkonsentrasjoner for holdetid testen med kun Inergen, målt 95 cm over gulv. Den blå linjen markere oksygenkonsentrasjonen ved 15 prosent. Den sorte linjen markere designkonsentrasjonen på 12,6 prosent..... | 29 |
| Figur 10. Oversikt over plassering av måleinstrument. ....   | 31 |
| Figur 11. Brannscenario A: Tidslinje med hendelser for forsøk 1 og forsøk 5.....   | 32 |
| Figur 12. Brannscenario A: Sammenligning av brannvekst.....  | 33 |
| Figur 13 Brannscenario A: Forsøk 1 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 1, med inergen. Termoelement plassert ved 130 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart, som forklart i delkapittel 4.7.1. .... | 35 |
| Figur 14 Brannscenario A: Forsøk 5 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 5, med sprinkler.....   | 35 |
| Figur 15. Brannscenario A. Grafisk fremstilling av røyktetthet.....  | 36 |
| Figur 16 CO-målinger. Punktene i diagrammet indikerer hvor eksakte målinger er loggført av CO-måleren. ....  | 37 |
| Figur 17. Brannscenario B: Tidslinje med hendelser for forsøk 3 og forsøk 4.....   | 39 |
| Figur 18 Brannscenario B: Sammenligning av brannvekst.....   | 40 |
| Figur 19 Brannscenario B: Forsøk 3 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 3, med inergen. Termoelement plassert ved 130 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart. ....                                   | 41 |

Figur 20 Brannscenario B: Forsøk 4 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 4, med sprinkler. Termoelement plassert ved 150 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart. Sprinkleranlegg blir ikke utløst i dette forsøket.42

Figur 21. Brannscenario B. Grafisk fremstilling av røyktetthet. .... 43

Figur 22. Brannscenario B: CO-målinger. .... 44

Figur 23 Hendelsetre som viser de ulike hendelseskjedene for brannscenario A og B ..... 50

Figur 24 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder. ....IV

Figur 25 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder. ....IV

Figur 26 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder. .... V

Figur 27 Brannscenario A, forsøk 1: Temperaturmålinger på komponenter. .... V

Figur 28 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder. ....VII

Figur 29 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder. ....VII

Figur 30 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder. .... VIII

Figur 31 Brannscenario B, forsøk 3: Temperaturmålinger på komponenter. .... VIII

Figur 32 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder. .... X

Figur 33 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder. .... X

Figur 34 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder. ....XI

Figur 35 Brannscenario B, forsøk 4: Temperaturmålinger på komponenter. ....XI

Figur 36 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder. .... XIII

Figur 37 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder. .... XIII

Figur 38 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder. ....XIV

|   |     |
|---|-----|
| Figur 39 Brannscenario A, forsøk 5: Temperaturmålinger på komponenter. ....   | XIV |
| Figur 40 Scenario A: skjermbilder fra forsøk 1 og 5 ved brannstart, utløst anlegg og høyest målte CO-konsentrasjon. ....                          | XVI |
| Figur 41 Scenario B: skjermbilder fra forsøk 3 og 4 ved brannstart, utløst anlegg/ikke utløst anlegg og høyest målte CO-konsentrasjon. ....       | XVI |
| <br>  |     |
| Tabell 1 Fysiologiske effekter og respons når en person eksponeres for ulike konsentrasjoner CO, gjengitt på norsk fra Stensaas rapport [9]. .... | 7   |
| Tabell 2 Menneskelige akseptkriterier ved rømning. ....   | 8   |
| Tabell 3. Terskel verdier for røyktetthet og sikt [8]. ....   | 8   |
| Tabell 4 Menneskers fysiske respons ved ulike temperaturer. Gjengitt på norsk fra Stensaas rapport [9]. ....                                      | 9   |
| Tabell 5 Nummerering og plassering av komponentene som inngår i et Inergen-anlegg. ....   | 14  |
| Tabell 6 Oversikt over hvilke institusjoner som inngår i næringskode 86.104. ....   | 20  |
| Tabell 7. Oversikt over brannscenario og tilhørende forsøk. ....  | 22  |
| Tabell 8. Brannscenario A: Info om brannmaterial. ....  | 22  |
| Tabell 9. Brannscenario B: Madrass info. ....   | 24  |
| Tabell 10 Oversikt over instrumentene som ble brukt under de praktiske forsøkene, samt en beskrivelse av funksjonen de har. ....                  | 29  |
| Tabell 11. Brannscenario A: Oversikt over maksimal temperatur på termoelement-stenger. .  | 34  |
| Tabell 12 Brannscenario B: Oversikt over maksimaltemperaturer på termoelementstenger. .   | 40  |
| Tabell 13. Rapporterte branner i pasientrom i årene fra år 2010-2018. ....  | 47  |
| Tabell 14 Kriterier til kvalitativ vurdering av sannsynlighet av hendelser [34]. ....   | 48  |
| Tabell 15 Beskrivelse av de ulike hendelseskjedene. ....  | 50  |
| Tabell 15 Resultater konsekvensvurdering for personsikkerhet av de enkelte hendelseskjedene. ....   | 51  |
| Tabell 16 Resultater konsekvensvurdering for driftssikkerhet av de enkelte hendelseskjedene. ....   | 51  |
| Tabell 17 Resultater konsekvensvurdering økonomiske konsekvenser. ....  | 52  |
| Tabell 18 Kriterier til vurdering av konsekvens. ....   | 52  |
| Tabell 19 Resultatene for risiko med hensyn til personsikkerhet. ....   | 53  |
| Tabell 20 Resultatene for risiko med hensyn til Driftsforstyrrelser. ....   | 54  |
| Tabell 21 Resultatene for risiko med hensyn til Økonomiske konsekvenser. ....   | 55  |

|   |     |
|---|-----|
| Tabell 22 Resultatene fra risikoanalysen, som viser risikobilde til de to alternative slokkesystemene for brannscenario A og B. ....  | 66  |
| Tabell 23 Oversikt over målte verdier for relativ fuktighet i testrommet med tilhørende omgivelsestemperatur.....   | I   |
| Tabell 24 Målt støynivå [dBA] for Inergen og sprinkler. Målingene for Inergen-forsøkene er utført både utenfor testrommet og inne i testrommet. Målingen for sprinkler er kun utført utforbi testrommet. .... | I   |
| Tabell 25 Forsøk 1, varighet av temperaturer over 80 °C. ....   | VI  |
| Tabell 26 Forsøk 3, varighet av temperaturer over 80 °C. ....   | IX  |
| Tabell 27 Forsøk 4, varighet av temperatur over 80 °C. ....   | XII |
| Tabell 28 Forsøk 5, varighet av temperatur over 80 °C. ....   | XV  |
|   |     |
| Bilde. 1. Brannscenario A: Konfigurasjon av klær .....  | 23  |
| Bilde. 2. Brannscenario B: Plassering av madrass og tennkilde. ....   | 24  |
| Bilde. 3. Referansebilde for estimering av fri sikt under røyklag. ....   | 30  |
| Bilde. 4. Oppsett for tennkilde brukt i forsøkene .....   | 31  |
| Bilde. 5. Brannscenario A: Forsøk 1 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av Inergen. ....   | 36  |
| Bilde. 6. Brannscenario A: Forsøk 5 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av sprinkler .....   | 37  |
| Bilde. 7. Brannscenario B: Forsøk 3 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av Inergen. ....   | 43  |
| Bilde. 8. Brannscenario B: Forsøk 4 - Fri sikt under røyklag ved 4 min 25 sek.....  | 44  |

## DEFINISJONER OG BEGREPER

| Ord               | Forklaring   |
|-------------------|--|
| Assistert rømning | Planlagt bistand til rømning tilrettelagt ved organisatoriske tiltak.  |
| Barriere          | Funksjon eller system som kan redusere konsekvensene av eller hindre en uønsket hendelse.  |
| Brannforløp       | Brannens utvikling fra antennelse til den har sloknet eller blitt sloknet. [1]   |
| CO                | Karbonmonoksid   |
| HBr               | Hydrogenbromid   |
| HCL               | Saltsyre (Hydrogenklorid)  |
| HF                | Hydrogenfluorid  |
| Konveksjon        | Transport av varmeenergi når væsker eller gasser strømmer.   |
| Kritiske forhold  | Med kritiske forhold menes det i denne oppgaven menneskers tålegrense med hensyn til temperatur, karbonmonoksid og fri sikt under røyklaget. |
| NO <sub>2</sub>   | Nitrogendioksid  |
| ppm               | Enhet for angivelse av konsentrasjon, 1 ppm = 0,0001 % [2]   |
| SO <sub>2</sub>   | Svoveldioksid  |
| Hendelse          | Forekomst av eller endring i et bestemt sett med omstendigheter [3].   |



# 1 INNLEDNING

---

I perioden 2010-2018 er det ikke registrert dødsbranner på psykiatriske institusjoner i Norge. Dette henger sammen med strenge krav til brannsikkerhet, høy bemanning hele døgnet og begrenset tilgang på brennbart material. I henhold til byggeteknisk forskrift er det et krav om å installere automatisk sløkkeanlegg i psykiatriske institusjoner, dette løses ofte ved å installere sprinkleranlegg fordi det er en preakseptert løsning. For noen type institusjoner kan det være utfordringer fra vannskader ved utløst sprinkleranlegg, noe som kan føre til nedetid på grunn av tørking og nedvask. I noen tilfeller kan dette være ressurskrevende, fordi pasienten i mellomtiden må omplasseres til en tilsvarende avdeling eller fengsel. Et sløkkeanlegg basert på Inergen er en mulighet for å hindre vannskader i et pasientrom, da sløkkemiddelet er gassbasert. Dersom det velges en alternativ løsning må det fremstilles dokumentasjon som tilsier at valgt løsning er minst like god som preakseptert.

## 1.1 BAKGRUNN

St. Olavs hospital i Trondheim bygger en ny sikkerhetsavdeling som skal huse personer dømt til tvungent psykisk helsevern. I den forbindelse ble installering av Inergen-anlegg vurdert som et alternativ til det mer tradisjonelle sprinkleranlegget, da dette er to forskjellige metoder for å respondere på en påsatt brann i pasientrom. Grunnet begrenset budsjett og tid ble ikke dette gjennomført i praksis. Likevel var det ønskelig fra deres side å belyse fordelene Inergen kunne hatt, fordi nedetid på et pasientrom kan være ressurskrevende. Flere problemstillinger ble diskutert med hovedbrannvernleder ved St. Olavs hospital, og det ble et klart behov for å begrense oppgavens omfang.

## 1.2 MÅL

Formålet med denne rapporten er å vurdere om et gassløkkesystem basert på Inergen kan være et alternativ til sprinkleranlegg. Oppgaven skal gi en objektiv vurdering av alternativene ved bruk av fullskala brannforsøk og risikovurdering til å belyse ulike fordeler og ulemper.

Oppgaven søker å belyse faktorer knyttet til en påsatt brann i et pasientrom. Fokuset har vært på hvilke forhold som kan forventes i et pasientrom og hvilken effekt sløkkeanleggene vil ha ved evakuering, med hensyn på kritiske forhold fra brannen.

Med kritiske forhold menes det i denne oppgaven menneskers tålegrense med hensyn til temperatur, karbonmonoksid og fri sikt under røyklaget.

### 1.3 BEGRENSNINGER

Vurdering av de fysiologiske effektene knyttet til Inergen, samt systempåliteligheten til sløkkeanleggene er ikke en del av oppgavens omfang.

Oppgaven er begrenset til å omhandle en sammenligning av Inergen-anlegg og sprinkleranlegg med hensyn på hvilke forhold som kan forventes i et typisk pasientrom ved en påsatt brann.

Fullskala brannforsøk begrenses til å omfatte et pasientrom med bad.

Fordeler og ulemper ved bruk av Inergen i pasientrom vurderes basert på praktiske forsøk, risikovurdering og kvalitative undersøkelser, hvor det blir sett på konsekvenser og effekten av Inergen-anlegg og sprinkleranlegg. Oppgaven forutsetter at et Inergen-anlegg allerede er installert og i bruk.

## 2 TEORI

---

Dette kapitlet skal omhandle den teori som kan være nyttig for å forstå oppgaven.

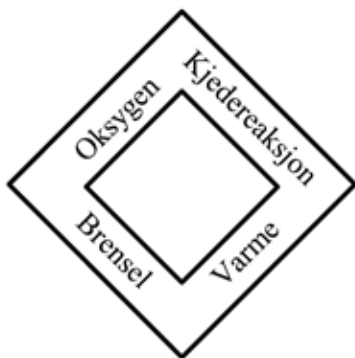
Teorikapitlet skal ta for seg noe generell brannteori, hvordan giftige gasser påvirker mennesker, akseptkriterier, generell teori om slokkesystemene og generell risikoteori.

### 2.1 BRANNTEORI

Dette delkapitlet vil omhandle den brannteori som vil være nyttig å vite for å videre forså oppgaven.

#### 2.1.1 Brannfirkanten

Tradisjonelt sett var det kun tre elementer som inngikk i forbrenningssonen til en brann: brensel, oksygen og energi (varme). Dette blir beskrevet som branntrekanten. Videre forskning har vist at dersom en forbrenning skal oppstå, må det også forekomme kjedereaksjoner i forbrenningssonen [4]. Kjedereaksjoner er de mellomliggende prosessene som utføres når to eller flere stoffer reagerer med hverandre [4]. For å slokke en brann må man fjerne eller sterkt begrense en av de fire elementene (se Figur 1).

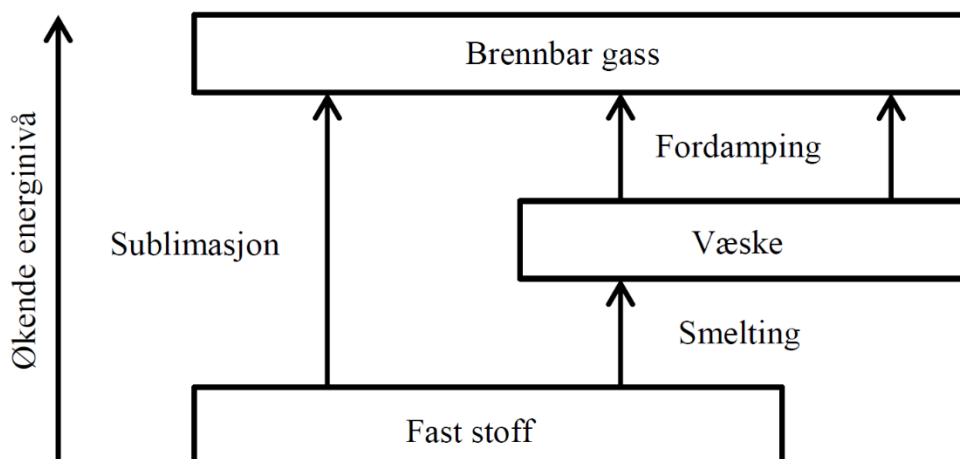


Figur 1. Brannfirkanten [4].

#### 2.1.2 Faseoverganger

Et brensel har tre ulike aggregattilstander: fast stoff, væske og gass. Dersom brenselet skal inngå i forbrenningsprosessen må brenselet være i gassform. [4]. Dersom brenselet ikke allerede er i gassform må det gjennomgå faseoverganger. Fast stoff blir smeltet om til væske, deretter fordampes væsken og blir til en blanding av gass og oksygen som antennes. Faste stoff kan også gå direkte fra fast stoff til gassform som vist i Figur 2 under. Dette kalles

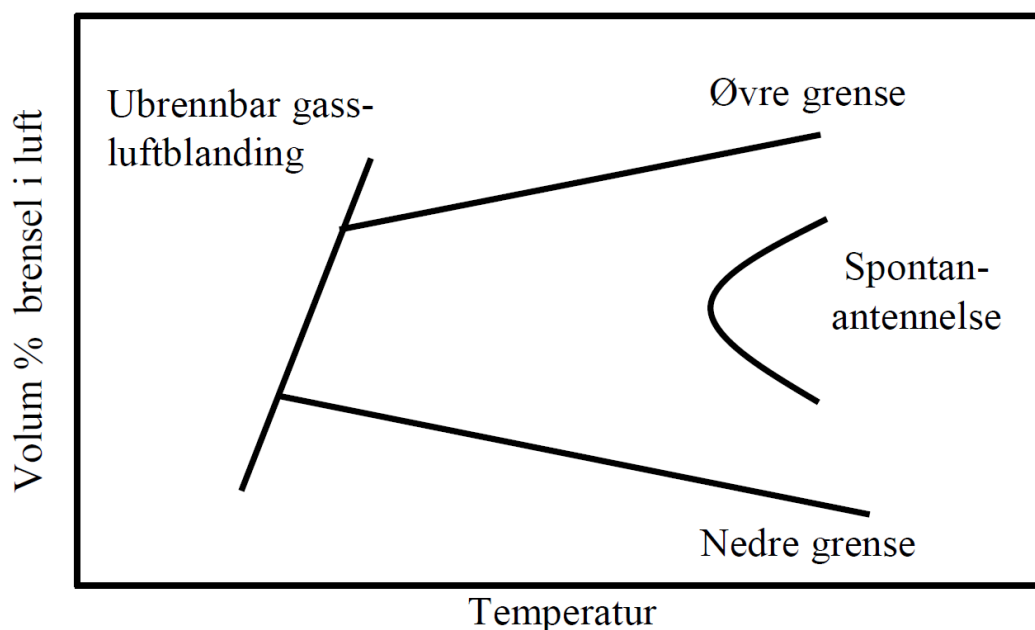
sublimasjon og krever mer energi [4].



Figur 2. Faseoverganger [4].

### 2.1.3 Brennbarhetsgrenser

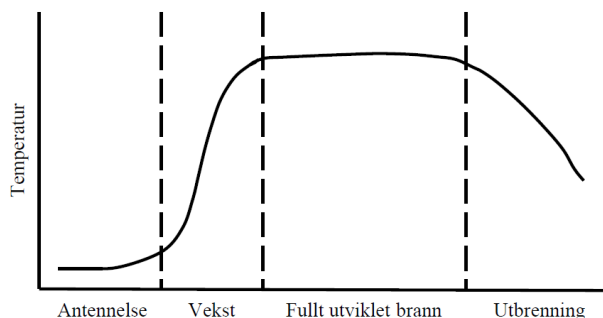
Dersom det skal oppstå en forbrenning må brenselet være i gassform. Selv om gassen er brennbar, vil det kun oppstå en flamme dersom blandingen av brennbar gass og oksygen er innenfor definerte grenser presentert i Figur 3 [5]. Disse grensene kalles ofte nedre brennbarhetsgrense og øvre brennbarhetsgrense. Brennbarhetsgrensene vil variere, og avhenger hovedsakelig av type gass, temperatur og trykk [4]. For å antenne en gassblanding som er nærliggende brennbarhetsgrensen kreves det mer energi [5].



Figur 3. Brennbarhetsgrenser [4].

## 2.1.4 Rombrann

En rombrann beskriver temperaturutviklingen i et rom over en gitt tid som presentert i Figur 4. Det er flere faser i brannforløpet: antennelse, vekst, overtenning, fullt utviklet brann og utbrenningsfasen [6].



Figur 4. Brannforløp i en rombrann [4].

Antennelsen er den første fasen i et brannforløpet. Antennelse oppstår ved at et stoff tilføres nok energi fra en kjemisk reaksjon til at reaksjonen kan bli opprettholdt uten energitilførsel fra eksterne kilder. Antennelse kan oppstå med og uten en tennkilde. Antennelse uten tennkilde kan skje ved en intern eller ekstern oppvarming. En tennkilde kan f.eks. være en gnist eller en åpen flamme [4].

Etter antennelsen oppstår vekstfasen. En brann kan ha en sakte eller hurtig utvikling, avhengig av type forbrenning, type brensel, påvirkning fra omgivelser og tilgang på oksygen [6]. Den viktigste faktoren vil være tilgang på brennbart materiale i gassform og da vil aggregattilstanden til materiale spille en viktig rolle med tanke på mengden gass som kan avgis. Det vil si at brannen er brenselstyrt. Dersom brannen utvikles videre og involverer alle brennbare materiell i rommet, vil brannen være fullt utviklet [4].

Et fenomen som kan oppstå i overgangen fra vekstfase til fullt utviklet brann er overtenning. Overtenning er mest vanlig ved hurtig brannutvikling. Det som karakteriserer en overtenning er når alle brennbare flater, inkludert røyklag under takflate antennes samtidig. De vanligste kriteriene for at det skal oppstå en overtenning er en varmestråling på over  $20 \text{ kW/m}^2$ , temperaturer mellom  $500\text{-}600 \text{ }^\circ\text{C}$  eller at flammer observeres på utsiden av brannrommet. Som regel blir ett av disse kriteriene lagt til grunn for å kartlegge når det oppstår en overtenning [4].

Brannen vil være fullt utviklet når frigjøringen av energi er på det høyeste, og det vil i denne fasen som oftest være lite tilgang på oksygen. Brannen kan da sies å være

ventilasjonskontrollert [6]. At brannen er ventilasjonskontrollert kan medføre to ting. Det ene er at brannstørrelsen vil være begrenset av lufttilgangen. Det andre er at mangel på oksygen vil forårsake en ufullstendig forbrenning. Det vil si at uforbrent gass vil føres ut av brannrommet og dersom gassen har en temperatur som er høyere enn spontanantennelsestemperatur vil gassen begynne å brenne når den blandes med oksygen på utsiden [4]. De uforbrente gassene vil også inneholde farlige stoffer som kan være skadelige for de som oppholder seg i rommet.

I utbrenningsfasen vil brannens energiproduksjon reduseres og dette medfører at temperatur i brannrommet blir avkjølt [6] [4]. Ved en fritt brennende brann kan utbrenningsfasen vare over lang tid. Installasjon av et sløkkeanlegg vil påvirke brannforløpet i den grad at den kan hindre eller slukke brannen før den utvikles til en fullt utviklet brann.

## 2.2 HVORDAN GIFTIGE GASSER PÅVIRKER MENNESKER

Røyk fra en brann kan inneholde flere skadelige stoffer i form av partikler i fast form, aerosoler og gasser. Et brennbart materiale kan produsere hundrevis av gasser i forbrenningsfasen, hvor flere av dem er giftige dersom konsentrasjonen er høy nok [7].

Blant de narkotiske stoffene finner en CO, HCN, CO<sub>2</sub> og lave konsentrasjoner av O<sub>2</sub>. Av de irriterende gasser finner en blant annet HCL, HBr, HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, formaldehyd, akrolein og isocyanat [7].

De akutte påvirkningene fra brannrøyk kan være svimmelhet, smerter i øyene og luftveiene, svekkelse, tap av bevissthet eller død. Senskader forekommer sjeldent, men kan innebære kreft, smerter i hjerte og lungeregionen, kronisk bronkitt eller økt slimproduksjon fra nesene. Gasskonsentrasjoner som ikke fører til død vil kunne redusere sikten, svekke mobiliteten til den som rømmer, redusere den mentale kapasiteten eller at personen blir handlingslammet [7].

Ifølge D.A Purser er det spesielt fire gasser som er viktige i en brann; HCN, CO<sub>2</sub>, CO og lave konsentrasjoner av O<sub>2</sub> [7]. CO er den mest dominerende, da gassen alltid er tilstede under en brann og ofte i høye konsentrasjoner. Den er ofte årsaken til dødsfall, dette grunnet gassens akutte påvirkning på mennesker [8]. Ved inhalering av CO, binder gassen seg til hemoglobinene i blodet og danner COHb. Fordi hemoglobinene binder seg 200-250 raskere til CO enn O<sub>2</sub>, blokkeres opptaket av O<sub>2</sub>. Eksponering av CO kan gi både akutt effekt og senskader, men effekten av lave konsentrasjoner går langsomt [7].

Tabell 1 gir en oversikt over de fysiologiske effektene og responsen ulike konsentrasjoner av CO vil kunne medføre. Informasjonen er hentet fra rapporten «Toxicity, visibility and heat stresses of fire effluents – human tenability limits» skrevet av Jan P. Stensaas [9], flere grenseverdier er inkludert, da ulike kilder i rapporten oppgir ulike verdier.

I ovennevnte rapport antas det at konsentrasjoner på et par tusen ppm vil være svært farlig.

Helsebiblioteket [10] påpeker at toksisiteten avhenger av konsentrasjonen av karbonmonoksid, oksygen i lufta samt eksponeringstiden. I tillegg spiller også den eksponertes alder, allmenntilstand, sykdomsbilde og pustefrekvens inn. Kortvarig eksponering for høye konsentrasjoner kan være uproblematisk, mens en langvarig eksponering for lave konsentrasjoner kan føre til alvorlig forgiftning. Det vises til en administrativ norm for karbonmonoksid, hvor det frarådes å eksponeres for konsentrasjoner over 25 ppm over en normal arbeidsdag, og at en kortvarig ikke bør eksponeres for konsentrasjoner høyere enn 100 ppm. Den administrative normen ble tidligere brukt til å vurdere arbeidsmiljøet på arbeidsplasser, men den er verdt å nevne som en referanse til de laveste konsentrasjonene presentert i Tabell 1.

*Tabell 1 Fysiologiske effekter og respons når en person eksponeres for ulike konsentrasjoner CO, gjengitt på norsk fra Stensaas rapport [9].*

| <b>CO konsentrasjon [ppm]</b> | <b>Fysiologiske effekter</b>  | <b>Respons</b>  |
|-------------------------------|---|---|
| 100                           |   | Kan eksponeres i flere timer.                             |
| 400 – 500                     |   | Ingen merkbar effekt etter 1 time.                        |
| 600 – 700                     |   | Merkbar effekt etter 1 time.                              |
| 1 500                         | Hodepine etter 15 min, kollaps etter 30 min, død etter 1 time.                    | Ubehagelig etter 1 time<br>Farlig hvis inhalert i 1 time. |
| 2 000                         | Hodepine etter 10 min, kollaps etter 20 min, død etter 45 min.                    | Ubehagelig etter 1 time<br>Farlig hvis inhalert i 1 time. |
| 3 000                         | «Trygg» eksponering de første 5 minuttene, fare for å kollapse etter 10 min.      |   |
| 4 000                         |   | Alvorlige konsekvenser hvis inhalert mindre enn 1 time.   |
| 6 000                         | Hodepine og svimmelhet innen 1-2 min, fare for hodepine innen 10-15 min.          |   |
| 10 000                        |   | Alvorlig hvis inhalert i 1 min.                           |
| 12 800                        | Akutt effekt, mister bevisstheten etter 2-3 åndedrag, fare for død innen 1-3 min. |   |

## 2.3 AKSEPTKRITERIER FOR TÅLEGRENSER

Tabell 2 under viser en oversikt over akseptkriterier. Tallene er hentet fra standarden Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk (SN-INSTA/TS 950), og er basert på menneskelige tålegrenser for å kunne bestemme tilgjengelig rømningstid.

Tabell 2 Menneskelige akseptkriterier ved rømning.

| Parameter        | Akseptkriterier | Kommentar  |
|------------------|-----------------|--|
| Sikt             | $\geq 1,9$ m    | Røykfri høyde bestemmes som $1,6$ m + $0,1 \cdot H$ , hvor H er rommets takhøyde [m] |
| Temperatur       | $\leq 80$ °C    | Temperatur i røykfri sone.   |
| Konsentrasjon CO | $< 2\ 000$ ppm  | Konsentrasjon over $2000$ ppm vil være kritiske.                                     |

### 2.3.1 Sikt

Når røyklaget når hodehøyde er ofte sikt dimensjonerende akseptkriteriet, det vil si at det ofte er det kritiske forholdet som inntreffer først i et hendelsesforløp. Sikt varierer med sotproduksjonen fra brannen, mens tettheten av sotpartikler (optisk røyktetthet) avgjør hvor tett røyken blir og følgelig hvor langt det er mulig å se. Hensikten med akseptkriteriet for sikt er å sikre at de som evakuerer bygget har minst en rømningsretning med tilfredsstillende sikt under den nødvendige rømningstiden [11].

I studier utført av Jin Tadashida og Yamada Tokiyoshi gjenngitt i *SFPE Handbook of Fire Engineering* [8], ble det gjennom eksperimenter observert hvordan testpersoner ble påvirket ved ulike røyktettheter. Det ble dokumentert at testpersonene som var ukjente i bygget følte seg ukomfortable i en røyktetthet på  $0,15$  1/m, mens de som var kjent i bygget følte seg ukomfortable og begynte å miste stødighet ved røyktetthet på  $0,5$  1/m. Det blir skrevet at disse resultatene kan brukes som grunnlag til å bestemme terskelen der rømning blir vanskelig, selv for personer som er kjent i bygget. Sikten ved disse røyktetthetene blir gitt i Tabell 3 [8].

Tabell 3. Terskel verdier for røyktetthet og sikt [8].

| Kjennskap til bygget | Røyktetthet | Sikt   |
|----------------------|-------------|--------|
| Ukjent               | $0,15$ 1/m  | $13$ m |
| Kjent                | $0,5$ 1/m   | $4$ m  |



### 2.3.2 Varmepåkjenning fra røykgasser

Innen en viss avstand fra brannen, der røykgassene ikke er kjølt ned betraktelig, kan varmpåkjenningen bli betydelig for personsikkerheten. Mennesker kan utsettes for to forskjellige former for varmpåkjenning. Varmestråling forekommer dersom personen oppholder seg i en viss avstand fra brannen. Personen vil ikke være i direkte kontakt med flammer eller varme røykgasser. Konvektiv varmpåkjenning forekommer dersom personen er i direkte kontakt med flammer eller varme røykgasser [12].

Ved konvektiv varmpåkjenning er varmeoverføringen i form av både varmestråling og konveksjon, så lenge røykgassenes temperatur er under 300-350 °C er konveksjon dominerende varmeoverføringsmekanisme. Konveksjon vokser tilnærmet proporsjonalt med temperaturen på røykgassene, mens varmestråling øker med røykgassens temperatur i fjerde potens. Varmestråling fra røyk vil være dominerende ved temperaturer over 300-350 °C [12].

Tabell 4 gir en oversikt over den fysiske effekten ulike temperaturer fører til. Stensaas refererer i sin rapport til en studie hvor det blir sett på faren ulike temperaturpåkjenninger utgjør for flypassasjerer [9], studiet indikerte at menneskers åndedrettsfunksjon kan tåle en temperaturpåkjenning på maks 200 °C. En eksponering for lufttemperatur på 310 °C over 20 sekund førte til tredjegrads forbrenning, ved denne temperaturen antas det at rømning ikke lenger er mulig. Som Tabell 4 viser, er det ånderettssystemet som først påvirkes, dermed vil ikke påkledning ha like stor betydning, likevel blir brannskadene noe mindre på de delene av kroppen som er dekket av klær [12].

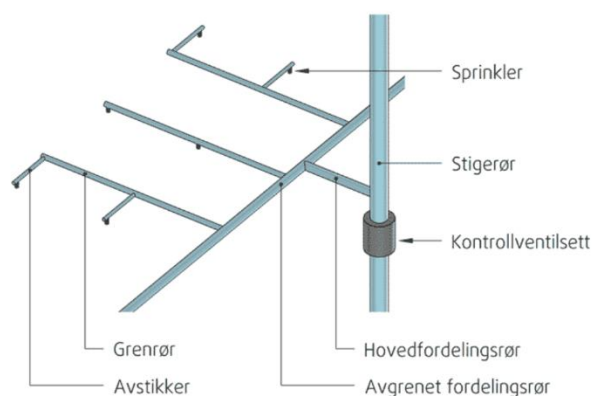
Varmepåkjenningen er spesielt aktuelt i rommet brannen starter i, og avhenger av fuktighetsinnholdet i røykgassene. Dette fordi varmeopptaksevnen øker når innholdet av vanndamp øker. For eksempel vil 100 % vanndamp oppleves ti ganger varmere enn tørr luft, da vanndamp har ca. ti ganger høyere varmeopptaksevne [12].

Tabell 4 Menneskers fysiske respons ved ulike temperaturer. Gjengitt på norsk fra Stensaas rapport [9].

| Temperatur [°C] | Fysisk effekt  |
|-----------------|--|
| 125             | Vanskelig å puste  |
| 140             | 5 minutters toleransetid   |
| 150             | Vanskelig å puste gjennom munnen, temperaturgrense for rømning             |
| 160             | Rask uutholdelig smerte på tørr hud  |
| 180             | Irreversibel skade i løpet av 30 sekund                                    |
| 205             | Åndedrettsfunksjonen har mindre enn 4 minutters toleransetid. Ved våt hud. |

## 2.4 SPRINKLER

SINTEF Byggforsk definerer sprinkleranlegg som et stasjonært automatisk slukkeanlegg med vann som slukkemiddel. Anlegget består av et rørsystem vanligvis tilkoblet det offentlige vannverket via en rørventil inn til bygget. Det skilles mellom ulike typer sprinkleranlegg; den vanligste typen er våtanlegg, der rørene er trykksatt med vann helt frem til sprinklerhodet. Anlegget består av vanntilførsel, kontrollventilsett og et rørnett med sprinklerhoder som vist i Figur 5.



Figur 5 Skisse over hovedkomponentene som inngår i et sprinkleranlegg. Hentet fra Byggforskserien 550.361 [13].

En annen type er tørranlegg, der rørene frem til sprinklerventilen (ofte en soneventil) er trykksatt med vann, og fra sprinklerventilen til sprinklerhodet er trykksatt med luft for å unngå frost. I begge anleggene slippes vann kun ut i de sprinklerhodene som er utløst [14]. I tillegg benyttes pre-action anlegg en del, hvor type A anlegg er et tørrørsanlegg, der alarmventilen styres av utløste sprinklerhoder og et automatisk branndeteksjonssystem. I denne typen må både sprinklerhodet og branndeteksjonssystemet løse ut. Type B anlegg skiller seg fra et vanlig tørranlegg ved at alarmventilen styres av enten automatisk branndeteksjon eller utløsning av sprinklerhoder. Generelt kan oppsett og vilkår for anleggene varieres etter behov [13].

Vann er det mest brukte slukkemiddelet, da det er lett tilgjengelig og billig, samt at slukkeegenskapene til vann er gunstige og vil kunne påvirke alle sidene i brannfirkanten. Vann har høy spesifikk varmekapasitet på 4,2 KJ/kgK og fordampningsvarme på 2257 kJ/kg som gjør at mye energi kan absorberes fra en brann ved at brannen bruker energi på å varme opp vannet istedenfor brennbare flater. Dette gir en kjølede effekt. Dersom 1 kg vann går over til vanndamp, vil volumet utvide seg rundt 1700 ganger, eller oppta et volum på 1700

liter, effekten er at vanddampen fortrenger og fortynner oksygenet i rommet. Gunstigheten med den høye spesifikke varmekapasiteten kan forklares ved at dersom vann ved 10 °C påføres brannen, og vannet varmes opp til 100 °C, har det absorbert 378 kJ energi tilsvarende 16-17 % av fordampningsvarmen. Når vannet som tilføres en brann fordamper, fjernes samtidig en del energi i form av varme. Vannet kan også øke motstanden til det brennbare materialet ved å fukte det, avhengig av hvilket materiale som brenner [15].

#### 2.4.1 Virkemåte

Et sprinklerhode aktiveres når glassbulben eller bimetallet utsettes for en bestemt temperatur og sprekker, normalt ved 68 °C. På grunn av termisk treghet vil det være en forsinkelse før sprinklerhodet aktiveres, forsinkelsen avhenger av sprinklerhodets responstid index (RTI) [16].

Den offentlige vannforsyningen frem til stengeventilen er adskilt fra resten av anlegget med en klaff, så lenge trykket på anleggssiden er høyere enn trykket som kommer fra det offentlige vannettet, holdes klaffen i stengt posisjon. En trykkmåler overvåker at det er riktig trykk over stengeventilen, måleren er koblet til en alarm som aktiveres dersom trykket synker, som følge av feil eller utløst anlegg. Når sprinklerhode aktiveres, synker trykket på anleggssiden, dermed åpnes klaffen i stengeventilen og vann strømmer gjennom anlegget, samtidig utløses en alarm tilknyttet brannalarmanlegget på grunn av trykkfallet [17].

Vannet strømmer ut sprinklerhodet i form av grove dråper som kan ha en kjølede effekt på brannen og redusere forbrenningen.

Sprinkleranleggets hensikt er å detektere en brann på et tidlig tidspunkt, slokke brannen eller kontrollere brannen inntil annen innsats kan fullføre slokkingen.

#### 2.4.2 Fordeler og ulemper med sprinkler

Sprinkleranlegg har vært i bruk i over 100 år, det er en utprøvd teknologi som har fått utviklet seg over mange år. Anlegget har en enkel oppbygging uten avansert styring av deteksjon og aktivering. Tilgang på vann er vanligvis ubegrenset og rimelig og det er som regel ikke behov for et vannreservoar, da er det heller ikke behov for etterfylling ved utløst anlegg. Som nevnt ovenfor er slokkeegenskapene til vann gunstige, det er heller ikke skadelig for hverken mennesker eller miljø [8].

Det finnes bruksområder og situasjoner der sprinkleranlegg ikke er et godt egnet slökkemiddel; bibliotek, museum, datasenter, områder med fare for frost etc. er eksempler, fordi vannet som ikke fordamper kan gjøre skade på inventaret, være elektrisk ledende og kortslutte komponenter. På væskebranner i form av hydrokarboner, kan vann ha begrenset effekt fordi hydrokarbonene er uløselig i vann og flyter over vannhinnen. De ovennevnte utfordringene kan i noen tilfeller løses ved tilsetninger i vannet, eller at vannet tilføres i finere dråper, det være seg vanntåkeanlegg, tørranlegg, tilsetning av frostvæske eller skum [8].

Eksempler [18] på brannscenarier der forholdene kan bli livstruende dersom personer ikke får evakuert selv eller dersom det tar for lang tid før hjelp kommer;

- Ulmebrann eller glødebrann hvor temperaturen ikke blir høy nok til å aktivere sprinklerhodet.
- Brann i områder der vannsprayen ikke kommer til, for eksempel i et klesskap.
- Brann i klær og sengetøy, der brannskaden blir stor før temperaturen blir høy nok til å aktivere sprinklerhodet.

Vannsprayen fra et sprinklerhode påvirker røykbevegelsene og luften i det område den beskytter i liten grad ved voksende eller fullt utviklet brann, men når sprinkleren har fått brannen under kontroll kan sikten bli redusert. Årsaken kan være kombinasjonen av sterk omrøring av luft samt når røykgassene kjøles ned [16].

## 2.5 INERGEN

Inergen er et merkenavn på den tidligere patenterte gassen IG-541, og er sammensatt av 52 % nitrogen, 40 % argon og 8 % karbondioksid [19], dette er gasser som finnes i atmosfæren. Gass-sammensetning er ikke giftig. Standarden NS-EN 15004 Faste brannsløkkesystemer. Del: 1 Planlegging, installasjon og vedlikehold oppgir at en maksimum eksponeringstid på fem minutter, og at eksponering utover denne tiden kan medføre toksikologiske og fysiologiske effekter. Standarden dekker sløkkegasser generelt, og skiller ikke mellom IG-541 som er personsikker, og andre sløkkegasser som ikke er personsikre.

Karbondioksid-innholdet i atmosfæren som skapes av Inergen har en dokumentert fysiologisk effekt ved at det kompenserer for det reduserte oksygennivået; innholdet av karbonmonoksid i blodet øker, blodårene utvider seg og åndedrettsfunksjonen stimuleres, kombinert med at oksygentilførselen til hjernen økes. Argon og nitrogen er ved atmosfærisk trykk inerte gasser

[20]. Den dokumenterte effekten har blant annet blitt vurdert av Erlend Johan Skraastad [21] (Overlege anesthesiavd. Ved St. Olavs hospital Trondheim) på oppdrag av Fire Eater AS og av Ansul [20] på oppdrag fra Tyco Fire Protection Products.

Inergen er ofte benyttet som slökkemiddel der vannbasert slukking ikke er ønskelig eller der det er begrenset tilgang på vannforsyning. Typiske bruksområder er tekniske rom (maskinrom, serverrom, datasenter), verneverdige bygninger, museum og arkiver, men det finnes også eksempler på andre bruksområder [22].

Hovedeffekten ved Inergen-gass er oksygenfortrenging, normalt fylles 50 % av rommets volum. Noen gasser, for eksempel nitrogen har en viss kjølede effekt, men det utgjør svært lite i sammenheng med gass-sammensetningen i Inergen. Kjøling har vist seg å være en mindre viktig faktor ved bruk av inerte gasser enn tidligere antatt, da oksygenfortrengningen i seg selv bidrar til å redusere temperaturen, i tillegg har Inergen lang holdetid [22].

Egenvekten til Inergen er viktig, da gassen veier litt mer enn luften i rommet; 1 m<sup>3</sup> luft veier 1,29 kg, mens Inergen ved samme volum veier 1,34 kg, noe som gir en lang holdetid i rommets volum, selv høyt oppe [23]. Om gassen får en tetthet høyere eller lavere enn omkringliggende luft er det molekylvekten som avgjør. Tettheten vil også øke dersom temperaturen synker, for eksempel når gassen fordampes eller ekspanderer. Generelt har inerte gasser med tetthet nesten som luft, som Inergen, lengst holdetid med gasskonsentrasjoner høyere enn designgrensen. I tillegg legges det inn en sikkerhetsfaktor ved design av anlegg [22].

Slokkeeffekten påvirkes i stor grad av hvor tett rommet er. Dersom for eksempel vinduer eller dører er åpne, kan gasskonsentrasjonen i rommet synke til et nivå der den ikke lenger har en tilstrekkelig kvelende effekt på brannen. På grunn av den kvelende effekten, vil Inergen ha spesielt god slukkeevne på flammebranner, til dels på ulmebranner og glødebranner dersom holdetiden er lang.

Inergen hindrer ikke røykutvikling fra elbranner som oppstår ved foreksempel lysbuer, brann i viklinger, varmgang i lagre eller overheting. Dersom brannkilden ikke er kjølt ned tilstrekkelig kombinert med at gass ventileres ut av rommet, kan brannen reantenne [22].

### 2.5.1 Virkemåte

Gasslokkeanlegget utløses dersom en branndetektor reagerer, i tillegg vil det være mulig å aktivere anlegget manuelt. Videre vil en ventil åpne og trykksatt gass tilføres det beskyttede

rommet via dyser. På grunn av økt trykk og behov for utligning, brukes spjeld til å slippe ut luft av rommet. Gassen fyller rommet og reduserer oksygenivået, dermed gir det en kvelende effekt på brannen. På grunn av lang holdetid og moderne branndetektorer kan et branntilløp detekteres tidlig og sløkkes i startfasen [22]. Dersom det er ventilasjonsanlegg i rommet, er det vanlig å styre den via brannalarmanlegget, og bruke ventilasjonen som trykkavlastning. Ved deteksjon av røyk stenges tilluft i rommet, mens avtrekk gjerne stenges etter at mesteparten av gassen er tilført i rommet.

## 2.5.2 Anlegget

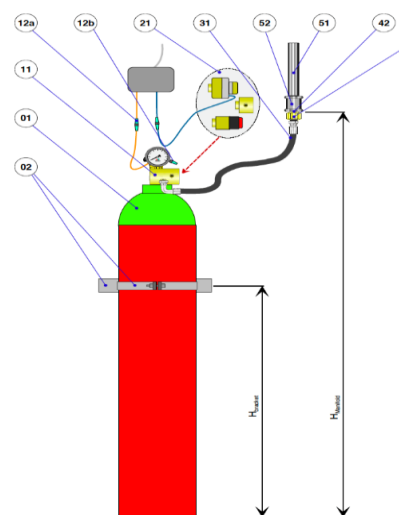
Et Inergen-anlegg består av en flaskebank på typisk 200-300 bar. Flaskestørrelsen varierer mellom 80 og 140 liter. En gassylinder på 80 liter holder til å beskytte 43 m<sup>3</sup>.

Fra flaskebanken går det et rørrnett til de rommene som skal beskyttes, ventiler sørger for å styre gassen til den utløste sonen. Det er muligheter for å ha en reserve flaskebank dersom en ny brann oppstår [22].

Tabell 5 viser en oversikt over ulike komponenter som inngår i et enkelt gassylinder-system. Hvordan systemet vil se ut, avhenger av brukerens behov og krav som stilles i det beskyttede området. Et eksempel er vist i Figur 6

Tabell 5 Nummerering og plassering av komponentene som inngår i et Inergen-anlegg.

| Plassering | Komponent   |
|------------|---|
| 01         | Gassylinder med Inergen-gass  |
| 02         | Festeanordning for gassylinder  |
| 11         | Utløsningsventil  |
| 12         | Manoswitch, brukes for å overvåke trykk   |
| 21         | Manuell aktuator  |
| 31         | Fleksibel slange mellom utløserventil og manifold. Har to funksjoner; lede Inergen til fra utløserventil til manifold, og gi trykk fra manifold for å aktivere utløserventil. |
| 42         | Manifold, for å koble sammen Inergen fra flere gassylindere. Åpningen er tilpasset ønsket trykk i rørsystemet.  |
| 51         | Rørsystem, distribuerer Inergen til dysen.  |
| 52         | Fitting til rørsystem   |



Figur 6 Skisse over installasjon med en gassylinder, hentet fra Fire Eater A/S manual for Inergen [24].

Ved utløsning av Inergen strømmer gassen gjennom rørnettet i en høy hastighet, noe som kan skape støy i det gassen distribueres gjennom dysen. Støyen kan begrenses ved å montere en lydtemper på dysen, den vil også redusere turbulensen i rommet som beskyttes [24].

En *constant flow*-regulator kan brukes for å unngå at det bygges opp høyt trykk i starten av utløsningen, regulatoren sørger for en jevn strømning av gass i utløsningstiden.

I et Inergen-anlegg er det vanlig å bruke to detektorer for å unngå utilsiktet utløsning, men det er ikke et krav. Valget avhenger også av type detektor som skal brukes<sup>1</sup>.

Det finnes flere ulike branndetektorer, valg av detektor avhenger av faktorer som:

- Forventet brannbelastning og brannforløp.
- Geometrien og utformingen av rommet, spesielt høyden på taket.
- Miljøforhold
- Risiko for unødvendig alarm
- Hvilke lover og forskrifter som gjelder
- Påvirkning fra ventilasjonsanlegg og varmeanlegg

Generelt skal branndektoren velges ut ifra de forholdene som er i rommet og gi tidligst mulig alarm [25]. Ifølge rapporten [7] «Kartlegging av gasskonsentrasjoner, effekt av dødluftsrom og effekt av alternativt deteksjonsprinsipp ved ulmebrann» fra SP Fire Research er det totalt sett optiske røykdetektorer som fungerer best. Dette sammenlignet med ioniske detektorer med hensyn på tidlig deteksjon av flammebrann og ulmebrann.

Optiske punktdetektorer baserer seg på lysrefleksjonsprinsippet. Detektoren består av en lysdiode og en fotocelle, samt en plate som adskiller de i et kammer, hvor lys ikke slipper inn. Fotocellen er koblet til en målekrets som reagerer på lys. Dersom røyk kommer inn i kammeret, vil partiklene i røyken reflektere lys fra dioden til fotocellen, målekretsens motstand endres, ved en forhåndsbestemt verdi utløses alarmsignalet [26].

### 2.5.3 Fordeler og ulemper med Inergen-anlegg

Inergen-anlegget utløses når en branndetektor aktiveres, dermed kan anlegget utløses tidlig i brannforløpet. Forsinket utløsning kan justeres etter behov. Da Inergen slokker med en tredimensjonal effekt, kan branner i utilgjengelige plasser, som hulrom, under møbler etc.

---

<sup>1</sup> Mailkorrespondanse med Arjen Kraaijeveld ved HVL.

slokkes. Det vil ikke oppstå skader på inventar og utstyr, og den medisinske sammensetning gjør at det ikke er farlig å eksponeres for gassen.

Flaskebanken som forsyner de ulike sonene kan samles på en plass [22]. Installering av et Inergen-anlegg kan kreve mindre inngrep på et allerede eksisterende bygg sammenlignet med sprinkler, da det kreves færre dyser og rør med lavere dimensjon.

Det kan være utfordrende å oppnå ønsket holdetid dersom rommet ikke er tett nok.

Flaskebanken krever stor lagringsplass og spesielle sikkerhetstiltak da de er under høyt trykk. Da flaskebanken inneholder en begrenset mengde gass, innebærer det en viss nedetid for anlegget dersom flaskene tømmes og må etterfylles.

Det vanligste er å beskytte en hel sone på samme rørsøyfe, det vil si at dersom Inergen-anlegget utløses, vil hele sløyfen utløses samtidig. Et eksempel kan være et bygg med flere rom på hver side av en korridor, der en rørsøyfe dekker alle rommene på en side, og en annen rørsøyfe dekker rommene på motsatt side. Dersom branndetektoren reagerer i et rom og utløser Inergen-anlegget, vil alle rommene tilknyttet rørsøyfen fylles med Inergen-gass.

Inergen krever nøyaktig dosering, for høy dosering påvirker personsikkerheten, mens for lav dosering påvirker slokkeeffekten og fører i verstefall til en reantennelse. Inergen er isolert sett personsikkert, men i et rom som brenner kan røykgasser utgjøre en fare for personsikkerheten.

Utløsertrykket må også være riktig, for å unngå at vinduer knuses eller at dører som slår innover ikke lar seg åpne. Anlegget er avhengig av strømforsyning, ledninger, detektorer tilknyttet sentral, programmering og spjeld, følgelig kan det kreve en del vedlikehold for å fungere tilfredsstillende [27]. Anlegget består av mange deler, noe som kan være en ulempe da det er flere komponenter som må fungere for at anlegget skal aktiveres.

## 2.6 RISIKO

Risiko innebærer at hendelser kan inntreffe, hvor konsekvensene av disse hendelsene påvirker noe som har verdi for mennesker. Disse konsekvensene kan ha en negativ effekt eller medføre skade på verdier eller mennesker. Risiko dreier seg alltid om noe som kan skje i fremtiden, evnen til å håndtere risiko er derfor blitt en viktig egenskap i dagens samfunn.



### 2.6.1 Risikovurderingsprosess

Risikovurdering er en samlet prosess som består av planlegging, risikoanalyse og risikoevaluering [28]. For å gjennomføre denne type prosesser er det ofte vanlig å bruke en eller flere standarder som hjelpemiddel til å gjennomføre risikovurderingen,

### 2.6.2 Risikoanalyse

En risikoanalyse er ifølge boken risikoanalyse – teori og metoder [29] en analytisk metode for å identifisere og vurdere mulige uønskede hendelser som kan lede til skade på mennesker, miljø og andre verdier vi setter pris på. Risikoanalysen kan være kvalitativ og/eller kvantitativ og ha ulik detaljeringsgrad.

Når det utføres en risikoanalyse går det i hovedsak ut på å besvare tre grunnleggende spørsmål [29].

- Hva kan gå galt?
- Hva er sannsynligheten til at uønsket hendelsen kan oppstå?
- Hvilke konsekvenser medfører denne uønskede hendelsen?

Ifølge ISO 31010 handler risikoanalyse om å utvikle en forståelse av risikoen. Den gir innspill til risikovurderinger og beslutninger hvorvidt risikoene må håndteres, og om hva som vil være de mest hensiktsmessige strategiene og metodene for håndtering [30].

### 2.6.3 Risikoevaluering

NS-5814 Krav til risikovurdering beskriver risikoevaluering som en «prosess for å sammenlikne beskrevet eller beregnet risiko med gitte risikoakseptkriterier». Dette inkluderer også identifisering og dokumentasjon av risikoreducerende tiltak og anbefalinger [28].

Under risikovurderings-prosessen utvikles en forståelse av risikoen gjennom risikoanalysen. I etterkant av en risikoanalyse vil man sitte igjen med en forståelse for hva risikoen i den gitte situasjonen vil være. Dette risikonivået vil så bli lagt til grunne for å gjennomføre en risikoevaluering, hvor formålet vil være å finne fem til best mulige beslutninger, framtidige handlinger og løsninger.

## 3 METODE

---

I dette kapitlet blir det beskrevet hvilke metoder som er brukt i oppgaven. Det ble først utført en litteraturstudie og en kvalitativ metode for å innhente data. Dette legger grunnlag for metoder til risikovurdering og forsøk.

### 3.1 LITTERATURSTUDIE

Til å gjennomføre dokumentanalyse og litteraturstudier er det valgt å bruke kvalitativ metode.

Som første del av litteraturstudie gjennomførte prosjektgruppen systematisk søk i databaser, etter relevante publiserte vitenskapelige artikler eller rapporter.

I denne oppgaven er det hentet informasjon fra:

Statistikk fra DSB

RISE Fire Research-rapporten *Mapping of gas concentrations, effect of dead-air space and effect of alternative detection technology in smouldering fires*,

SINTEF-rapportene

- *Toxicity, visibility and heat stresses of fire effluents - human tenability limits*
- *NY KUNNSKAP OM BRANN OFFSHORE. En innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning – 2. utgave*
- *Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg – Boligsprinkler og vanntåke*
- *Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg – Boligsprinkler og vanntåke*
- *Røykproduksjonen ved branner offshore - Rev. 1*

Diverse datablad fra SINTEF byggforskserien

Masteroppgaven *Cooling of a hot smoke layer by a sprinkler spray*

White paper *The Physiology of INERGEN Fire Extinguishing Agent (Rev. 03)*

Den medisinske gjennomgangen *Personsikkerhet ved opphold i atmosfære med redusert oksygennivå kompensert med økt karbondioksidnivå*

## 3.2 KVALITATIV METODE

Det er valgt å bruke kvalitativ forsknings metode for å innhente data for å forstå analyseobjektet best mulig. For å få et helhetligbilde ble det valgt å gjennomføre kvalitative intervju og dataanalyse.

### 3.2.1 Kvalitative intervju

For å få tilstrekkelig informasjon til å utføre en risikovurdering og svare på oppgavens målsetting, ble det valgt å bruke en kvalitativ intervju metode. Fordelen med denne metoden er at den er fleksibel og gjør det mulig å få fylldige og detaljerte beskrivelser av analyseobjektet. Intervju gir informantene større frihet til å uttrykke seg og få fram erfaringer og oppfatninger [31].

Det ble valgt å bruke semistrukturerte intervju til å innhente informasjon om analyseobjektet. Semistrukturerte intervju bruker en overordnet intervjuguide som utgangspunkt, mens spørsmål, temaer og rekkefølgen kan variere [31]. Intervjuguiden bestod av forhåndsdefinerte spørsmål og temaer for å tilegne forståelse av analyseobjektet. Informanten hadde mulighet å tilføye spørsmål og innspill som ikke var i intervjuguiden. Intervjuene ble gjennomført via Skype hvor det ble tatt lydopptak av samtale. Ved bruk av denne metoden fikk prosjektgruppen god relasjon til informantene som var tilgjengelige gjennom hele prosjektet.

### 3.2.2 Kvalitativ dataanalyse

Brannstatistikk fra perioden 2010-2018 med næringskode 86.10 Sykehustjenester [32] ble tilsendt fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Dataen var delt i to tidsperioder fra 2010-2015 og 2016-2018 dette grunnet endringer i brannvesenets innrapportering fra 2016, men næringskodene er de samme. Denne dataen dekket et for bredt spekter og var ikke representativ for analyseobjektet.

Dataen ble bearbeidet og det ble valgt å kun bruke statistikken med næringskode 86.104 - Institusjoner i psykisk helsevern for voksne, som omhandlet brann i pasientrom. Dette innebefatter også noen andre typer institusjoner enn analyseobjektet, men vil bidra til den mest representative dataen. Tabell 6 under viser hvilke institusjoner som inngår i ovennevnte næringskode.

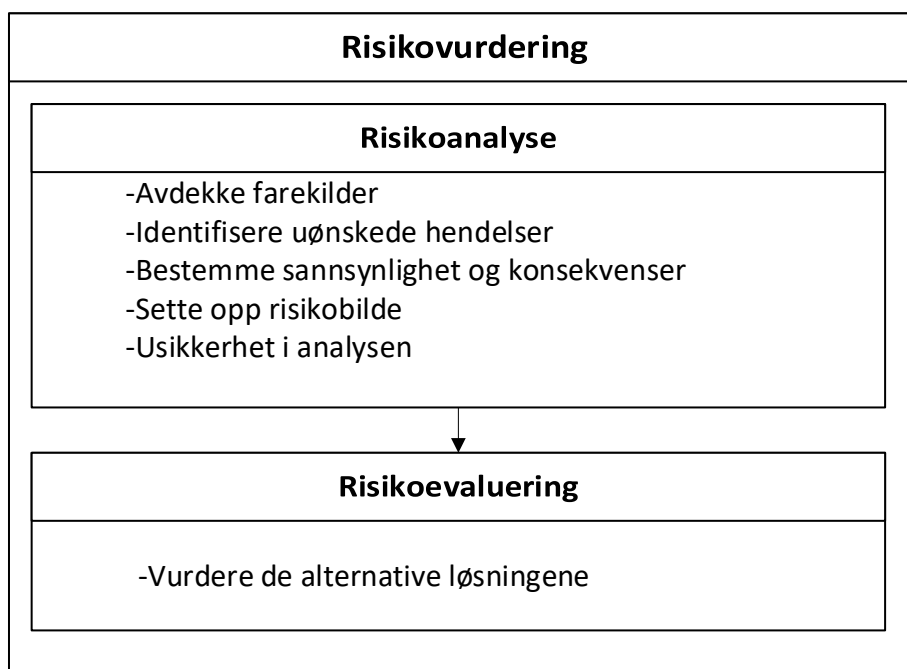
Tabell 6 Oversikt over hvilke institusjoner som inngår i næringskode 86.104.

|  |
|--|
| Næringskode 86.104 Institusjoner i psykisk helsevern for voksne [32]   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Omfatter alle døgninstitusjoner/-avdelinger for voksenpsykiatrisk behandling (primært pasienter over 18 år).</li> <li>- Omfatter også institusjoner der døgnbehandling og poliklinikk er samlokalisert (primært pasienter over 18 år).</li> </ul> |

### 3.3 RISIKO VURDERING

I dette kapittelet blir det beskrevet hvilke metoder som blir brukt i risikovurderingen samt en forklaring av hvilken fremgangsmåte som er blitt brukt. Metodene til å gjennomføre risikoanalysen er basert på NS 5814:2008 – Krav til risikovurdering [28] og NS-ISO 31010:2009 – Metoder for risikovurdering [30].

Figur 7 viser en forenklet modell av fremgangsmåten for risikovurderingen.



Figur 7 Forenklet oversikt over hva som inngår i en risikovurdering som blir gjennomført.

Gjennom intervju og dialog med ansatte ved St. Olavs hospital, dannet analysegruppen en forståelse av analyseobjektet. Grunnet det sensitive arbeidet på institusjonen er det ikke mulig å bruke de valgte plantegningene for det nye bygget. Plantegninger for et av bygg konseptene som ikke er valgt ble gjort tilgjengelig og brukt til å etablere en systembeskrivelse.

Som en innledende analyse ble det brukt en grovanalyse for å identifisere farekilder og uønskede hendelser, metoden er beskrevet i NS-ISO 31010 [30]. Informasjonen fra grovanalysen ble brukt til å prioritere de hendelsene analysegruppen skulle studere nærmere.

Det ble brukt en kvalitativ hendelsetre analyse beskrevet i NS-ISO 31010 [30] for å analysere konsekvensene av brann i pasientrom. Analysemetoden er enkel å forstå for personer uten spesiell opplæring i risikoanalyse og danner et godt grunnlag for arbeid med å vurdere nye/alternative sikkerhetssystemer [29]. Det ble analysert to ulike brannscenarier i et pasientrom basert på informasjonen anskaffet fra den innledende grovanalysen. Det ble gjennomført fullskala brannforsøk for de valgte brannscenariene beskrevet i delkapittel 3.4.1, disse forsøkene dannet datagrunnlaget for konsekvensvurderingen.

Resultatene fra risikoanalysen diskuteres i risikoevalueringen for å vurdere om Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler.

### 3.4 METODE FOR FORSØK

Målet med forsøkene er å se på virkemåten slokkesystemene Inergen og sprinkler har på et pasientrom ved en påsatt brann med hensyn på personsikkerhet, brannbelastning og røykproduksjon.

Forsøkene avgrenses til et pasientrom med bad. Dører og vinduer var lukket under forsøkene. Det vil følgelig ikke involvere andre deler av bygget. Det antas at Inergen og sprinkler allerede er blitt prosjektert, da fokuset i forsøkene ikke var rettet mot brannteknisk prosjektering og regelverk rundt automatiske slokkeanlegg.

Forsøkene har ikke til hensikt å fremme noen av de overnevnte anleggene. Brannscenariene er basert på reelle situasjoner, og er ikke beskrevet for å virke i favør for noen av slokkesystemene.

### 3.4.1 Valg av brannscenario

Brannscenariene ble valgt ut ifra statistikk og samarbeid med ekstern veileder. Hvert scenario inneholder forsøk med både sprinkleranlegg og Inergen-anlegg. Tabell 7 viser en oversikt over brannscenariene med tilhørende forsøk.

Tabell 7. Oversikt over brannscenario og tilhørende forsøk

| <b>Forsøksnummer</b> | <b>Brannscenario</b> | <b>Kommentar</b>       |
|----------------------|----------------------|------------------------|
| Forsøk 1. Inergen    | A                    | Påsatt brann i skap    |
| Forsøk 5. Sprinkler  |                      |                        |
| Forsøk 3. Inergen    | B                    | Påsatt brann i madrass |
| Forsøk 4. Sprinkler  |                      |                        |
| Forsøk 2. Holdetid   | -                    | Holdetid test          |

### 3.4.2 Brannscenario A

Pasientene på St. Olavs hospital bruker egne klær, og dette scenariet bygger på at en pasient antenner sine egne klær i skapet på pasientrommet. Klærne som ble brukt i dette scenariet er listet opp i Tabell 8. Mengden klær ble bestemt ut fra dialog med hovedbrannvernleder ved St. Olavs hospital over hva som vil være realistisk. Klærne ble hengt opp i en krok under taket i skapet som vist på Bilde. 1.

Tabell 8. Brannscenario A: Info om brannmaterial

| <b>Type</b>        | <b>Vekt [g]</b> | <b>Material</b>             | <b>Brannscenario</b> |
|--------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| Genser             | 236             | 63 % bomull, 37 % polyester | A                    |
| Sykehusets trøye   | 100             | 50% bomull, 50% polyester   | A                    |
| Sykehusets håndduk | 41              | 100% bomull                 | A                    |

Antennelsen vil skje i den øverste hyllen i skapet, og brannen vil spre seg oppover langs klærne. Det antas at brannutviklingen i skapet vil være rask, som vil være en utfordring for de ansatte i bygget med tanke på evakuering av pasienter. De vil få kortere reaksjonstid og blir nødt til å ta hurtige beslutninger.



Bilde. 1. Brannscenario A: Konfigurasjon av klær

#### 3.4.2.1 Hypotese for brannscenario A

I brannscenario A antas følgende hypoteser:

- Mengden røyk fra brannen vil bli fanget opp av den optiske røykvarsleren som utløser Inergen-anlegget.
- Temperaturen i røyklaget vil ikke bli høy nok til å utløse sprinkleranlegget.
- Temperaturen i testrommet vil ikke bli kritisk
- Konsentrasjonen av giftige gasser med hensyn på karbonmonoksid vil ikke føre til kritiske forhold.
- Det vil ikke oppstå kritiske forhold med hensyn på sikt.

#### 3.4.3 Brannscenario B

I dette brannscenarioet antennes et stykke av en madrass på sengen i pasientrommet. Madrassen er en institusjonsmadrass og tidligere brukt i en psykiatrisk avdeling. Det ble valgt å dele opp hele madrassen i mindre biter, da det virket usannsynlig at hele madrassen vil brenne opp før de ansatte har evakuert pasienten eller slokket brannen selv. Madrassbiten ble plassert over tennkilden som vist i Bilde. 2. Mer informasjon om madrassen er gitt i Tabell 9.

Tabell 9. Brannscenario B: Madrass info

| Type                                   | Vekt [g] | Material                 | Brannscenario |
|--|----------|--------------------------|---------------|
| Sykehusmadrass (40 cm x 80 cm x 13 cm) | 555      | Flammehemmende skumplast | B             |



Bilde. 2. Brannscenario B: Plassering av madrass og tennkilde.

Antennelsen vil skje på sengen i pasientrommet. Det antas en sakte brannutvikling med en høy produksjon av sort røyk. Temperaturen i røyken kan bli høy nok til å utløse sprinkleranlegget, men ikke høy nok til å oppnå en kritisk røyktemperatur.

#### 3.4.3.1 Hypoteser for brannscenario B

For brannscenario B antas følgende hypoteser:

- Mengden røyk fra brann vil bli fanget opp av røyvarsler som utløser Inergen-anlegget.
- Temperaturen i røyklaget blir høy nok til å utløse sprinkleranlegget
- Temperaturen i testrommet vil ikke bli kritisk.
- Det vil ikke oppstå kritiske forhold med hensyn på sikt.
- Konsentrasjonen av giftige gasser med hensyn på karbonmonoksid vil føre til kritiske forhold.

#### 3.4.4 Utførelse

Det ble utarbeidet en sjekklister som hjelpemiddel før forsøkene startet, ved utførelsen av forsøket og etter forsøket ble avsluttet. Sjekklisten er lagt i Vedlegg E - Sjekklister. Det ble utført fire fullskala brannforsøk og en holdetid test for Inergen ved HVL sin brannhall på ResQ.



Ved starten av alle brannforsøkene ble tennbrikettene i trekrybben antent med en gassbrenner. Antennelsen ble også signalisert ved lydhorn, og på vei ut at testrommet ble et termoelement varmet opp for å markere starten på forsøket for dataloggeren.

Den optiske røykvarsleren ble montert slik at den kunne fjernes fra testrommet etter aktivering. Dette var for å hindre store skader på røykvarsler og ulyder på kamera opptak. Etter aktivering av røykvarsleren var fremgangsmåten for brannscenariene som følger:

For brannscenario A:

- Steng av tilluft 5 sekunder etter røykvarsler aktivering
- Manuell utløsning av Inergen-anlegg 30 sekunder etter røykvarsler aktivering
- Avstenging av avtrekk 90 sekunder etter utløst Inergen
- Vent til brannen slokkes / slukk brannen ved avsluttet forsøk

For brannscenario B:

- Hold ventilasjonen gående gjennom hele forsøket
- Vent til brannen slokkes / slukk brannen ved avsluttet forsøk

## 4 OPPSETT AV FORSØKENE

Testrommets utforming er basert på et konsept anskaffet av St. Olavs hospital gjennom anbud.

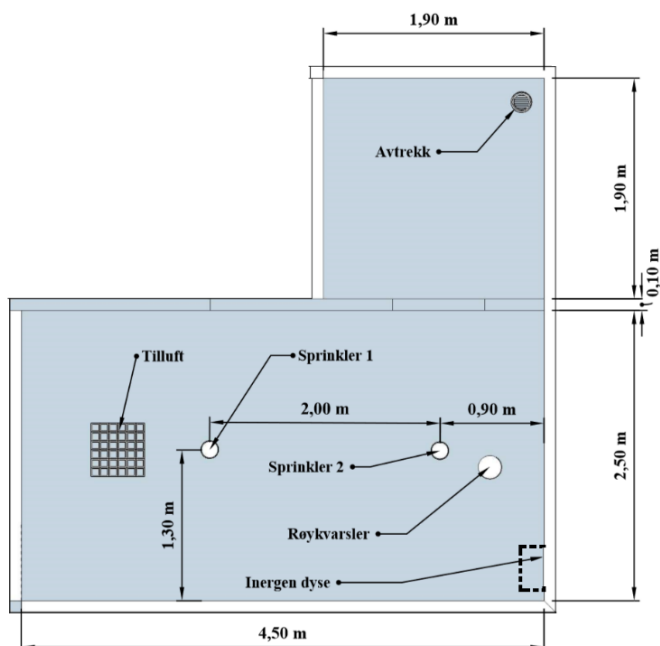
### 4.1 TESTROMMET

Forsøkene ble utført i et testrom med mål 4,5 m · 2,5 m · 3,1 m (l · b · h), i tilknytning til et bad på 1,9 m · 1,9 m · 3,1 m (l · b · h). Totalt volum for testrommet var 46 m<sup>3</sup>. Døråpning til bad var 0,9 m · 2,1 m. Rommets dimensjoner tilsvarte hvordan et pasientrom på en psykiatrisk avdeling kan se ut. En skisse av rommet er vist i Figur 8.

Modulene ble bygd med topp- og bunnsvill utført i 2"x8" og standard stenderverk på 2"x4", kledd med 11 mm gipsplater på innsiden.

Takkonstruksjonen ble festet til stålbjelker, som videre ble festet til fire kjettingtaljer, dermed kunne taket senkes/ heves. Taket ble bygd som et kvadrat på 4,5 m x 4,5 m, kledd med 11 mm gipsplater på innsiden.

Gulvet ble utført i betong med et lite fall mot en slukrist plassert omtrent midt i rommet. For å tette gliper i rommet, ble det brukt dytteremser av Glavaisolasjon mellom tak og toppsvill, samt fugemasse mellom gipsplate-skjøter. For å gjøre vegger og tak mer vannavstøtende ble de malt med våtromsmaling.



Figur 8. Plan visning av forsøksrom med installasjoner.

## 4.2 VENTILASJON

Det var opprinnelig planlagt Ø150 kanaler med luftmengde 150 m<sup>3</sup>/h i rommet. Med de materialer som var tilgjengelige ble ventilasjonen montert med Ø100 kanaler og ble under luftmålinger målt til å være 80 m<sup>3</sup>/h tilluft og 108 m<sup>3</sup>/h avtrekk. Tilluften ble montert på soverommet, og avtrekk på badet.

Forsøkene for Inergen ble utført med en «steng av»-strategi, tilluft i rom og avtrekk på bad ble benyttet som trykkavlastning. Det er vanlig med 60 eller 120 sekund utløsertid for Inergen, derfor ble avtrekk stengt 90 sekunder etter brannalarm og tilluft ble stengt 5 sekunder etter brannalarm.

Forsøkene med sprinkler ble utført med en «trekk ut» strategi hvor tilluften og avtrekket var funksjonelle under hele forsøket. Denne strategien ble valgt ut fra et planlagt konsept for St. Olavs hospital.

## 4.3 SPRINKLER

I henhold til standarden NS-EN 12845 Faste brannslukkesystemer – Automatiske sprinklersystemer – Dimensjonering, installering og vedlikehold ble det montert to sprinklerhoder på soverommet. Det ble ikke installert sprinkler på badet, da standarden gir unntak for bad og toaletter hvor det ikke lagres brennbare materialer. Sprinklerhodene er av typen institusjonssprinkler og er en *quick response* taksprinkler med standard dekningsområde. Utløsningstemperaturen er 74 °C og K-faktor 80.

Denne sprinklertypen er spesielt laget for bruk i fengsler og psykiatriske institusjoner, der det stilles ekstra strenge krav til sprinklerhodene; utformingen av sprinklerhodet begrenser muligheten for å skade seg selv eller andre med komponentene. Sprinklerhodene monteres flush med taket, noe som blant annet skal gjøre dem mer diskret og mindre attraktive å vandalisere.

Vannmengden ut per sprinklerhode ble bestemt ut ved bruk av formelen  $Q = K \cdot \sqrt{p}$  hvor det ble benyttet et minstetrykk på 0,5 bar. Dette gir da en vannmengde på 56,6 L/min. For å oppnå denne vannmengden ble det brukt to sprinklerhoder med samme K-faktor.

Sprinklerhodene ble plassert i bokser på 72 L, og tid til disse ble fylt opp ble registrert.

Trykket i vanntilførselen ble regulert til 0,9 bar hvor det tok 1 min og 20 sekund å fylle opp boksene. Vanntilførselen ut sprinklerhodene ble da:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{72 L}{1,33 \text{ min}} = 54,1 L/min$$

Hvor  $Q$  er vannmengde [L],  $V$  er volum [ $m^3$ ] og  $t$  er tid [s]. Dette gir da et avvik på 2,5 L/min fra den teoretiske vannmengden.

## 4.4 INERGEN

Det ble dimensjonert for en 80 liter gassylinder på 140 kg. Sylindere inneholdt 33 kg Inergen trykksatt på 300 bar, det ble brukt en sylinder pr. forsøk, som var nok til å dekke et volum på maksimum 43  $m^3$ .

En *constant flow*-regulator ble benyttet for å begrense mengden gass ut av dysen i starten av utløsningstiden, slik strømmingen av gass ble jevn utover utløsningstiden på 120 sekund.

Det ble også montert en støydempende dyse for å redusere lydnivå ved utløsning.

Dimensjoneringen av Inergen-anlegget ble utført av Fire Eater AS i beregningsprogrammet IMT (Inergen Management Tool). Fullstendig beregningsrapport finnes i Vedlegg D – IMT-beregninger for holdetid test.

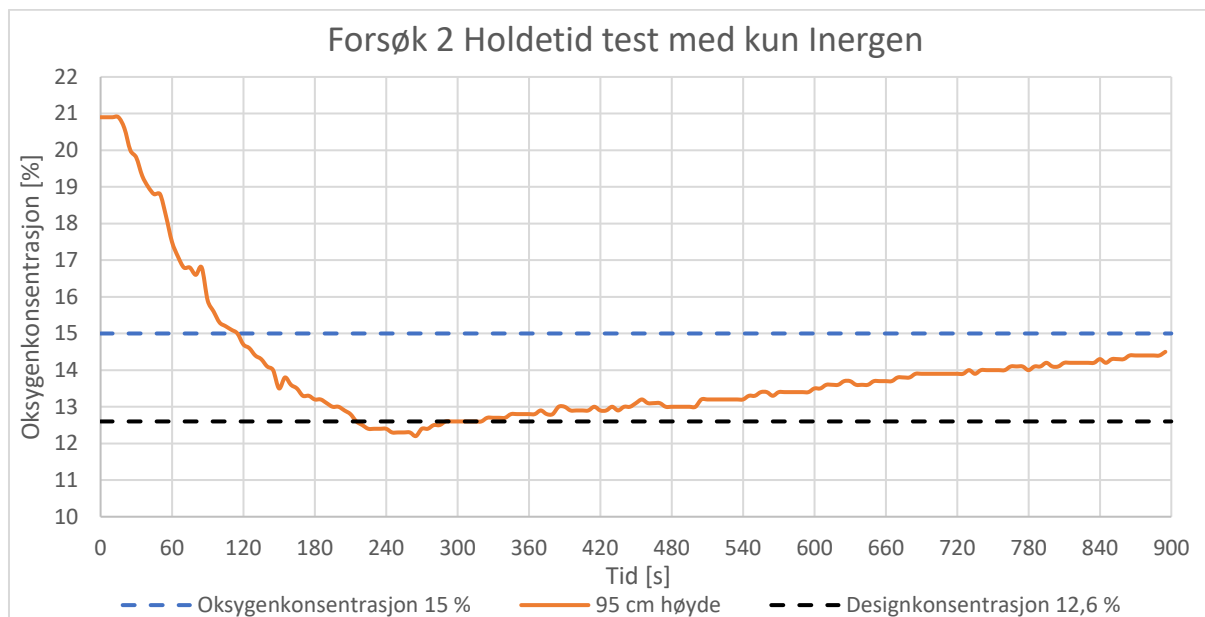
### 4.4.1 Holdetid test

Det ble utført en holdetidtest i testrommet. Holdetid blir definert som tiden fra rommet oppnår designkonsentrasjonen og til den treffer slokkekonsentrasjonen. Det er krav at holdetiden skal ligge mellom designkonsentrasjon og brannsløkkekonsentrasjon i minimum 10 minutter [33]

Slokkekonsentrasjonen for en klasse A brann (brennbare materialer, tre, stoff etc.) er 28,2 %, som tilsvarer en oksygenkonsentrasjon på 15 %. Designkonsentrasjonen er slokkekonsentrasjonen, inkludert en sikkerhetsfaktor på 1,3. For en klasse A brann vil dette tilsvare en designkonsentrasjon på 39,9 %, som tilsvarer en oksygenkonsentrasjon på 12,6 % [19].

Holdetid testen ble utført ved at tre observatører ble lukket inne i test rommet. Når Inergen-anlegget ble utløst begynte loggføringen av oksygen nivå på tidsintervaller på 5 sekunder. Oksygenmålere ble plassert på tre ulike høyder; 95 cm, 135 cm og 175 cm. Problemer med loggføring førte til at oksygenmålingene ved 135 cm og 175 cm høyde ble ufullstendige og det er derfor kun valgt å bruke målingene ved 95 cm høyde. Målingene er presentert i Figur 9.

Designkonsentrasjonen oppnås ved 3 min og 35 sekund, og holder seg under slokkekonsentrasjon i mer enn 10 minutt.



Figur 9. Holdetidtest. Diagrammet viser målte oksygenkonsentrasjoner for holdetid testen med kun Inergen, målt 95 cm over gulv. Den blå linjen markere oksygenkonsentrasjonen ved 15 prosent. Den sorte linjen markere designkonsentrasjonen på 12,6 prosent.

## 4.5 INSTRUMENTERING

En liste med instrumenter og deres funksjon som ble brukt under forsøkene er presentert i Tabell 10. En mer detaljert beskrivelse av instrumentene er lagt i Vedlegg B – Informasjon om instrumentering.

Tabell 10 Oversikt over instrumentene som ble brukt under de praktiske forsøkene, samt en beskrivelse av funksjonen de har.

| Produsent/ modellnr.  | Funksjon   |
|---|--|
| Dräger pac6500  | CO-måler. Måleområde opp til 2000ppm                                   |
| Extech Instruments RH390  | Fuktmåler og termometer. Brukt til å måle fuktnivå før start av forsøk |
| Norsonic type 102   | Lydnivåmåler   |
| Riken Keiki OX-3  | Oksygenmåler   |
| Måler for røyktetthet<br>Laget av Arjen Kraaijeveld ved HVL med følgende komponenter fra RS Components: <ul style="list-style-type: none"> <li>Hawkeye HF Laser Detector (varenr. 4881409)</li> <li>Laser Module 1068-43-000 (varenr. 194-026)</li> </ul> | Røyktetthet  |
| Testo 405-V1  | Lufthastighetsmåler. Ble brukt til å måle luftstrømmen i ventilasjon   |
| Biltema kanalvifte 46-344   | En til avtrekk og en til tilluft                                       |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Røykvarsler (Biltema 21-8060) | Fotoelektrisk (optisk) røykvarsler               |
| Termoelement type K           | Brukes til temperaturmålinger.                   |
| Keysight 34970A               | Datalogger av temperaturmålinger og røyktetthet. |

#### 4.6 PLASSERING AV MÅLEINSTRUMENTERING

CO- og oksygenmåleren ble først plassert i vinduet for forsøk 1, slik at observatører kunne dokumentere målingene da det tidligere var problemer med uthenting av resultatene. Etter utførelse av forsøket ble plasseringen endret da redusert sikt inn vinduet førte til store utfordringer for observatører. De ble under resten av brannforsøkene plassert under skrivebordet i en høyde på rundt 0,5 m. De ble plassert slik at verdier kunne registreres av kamera.

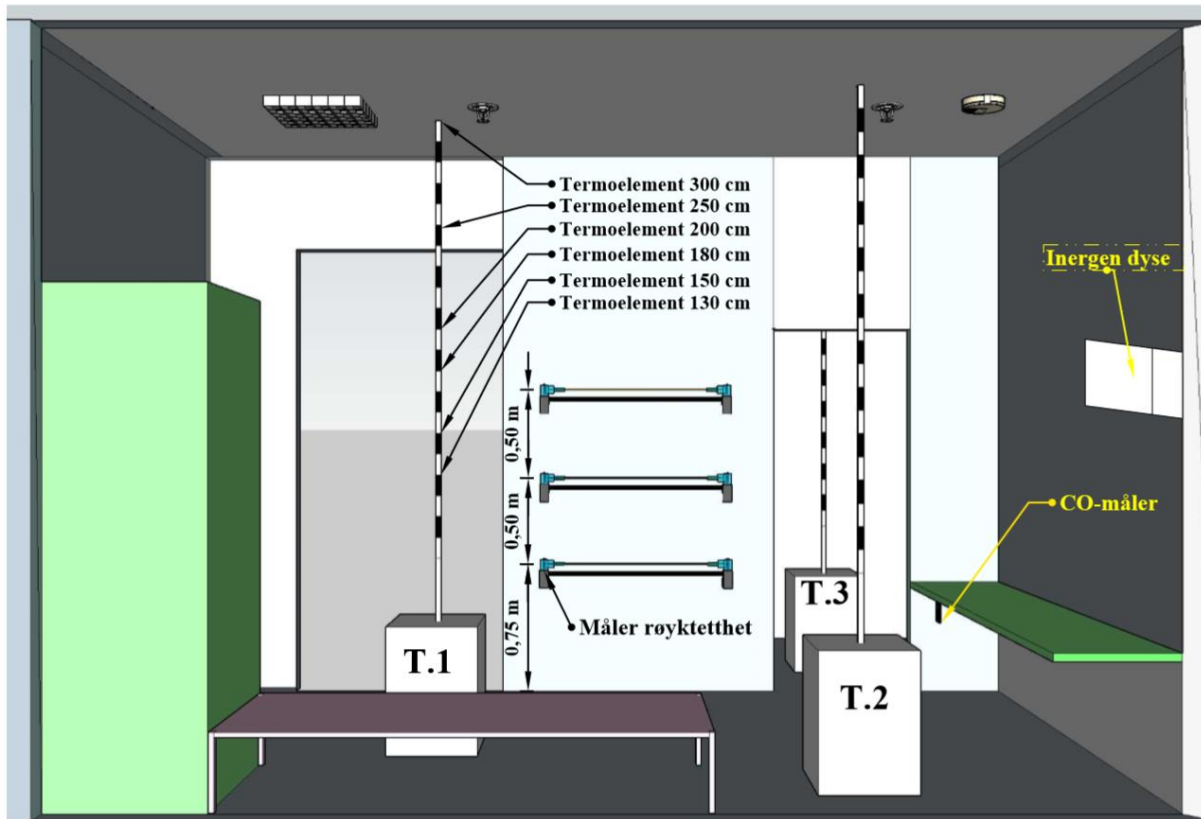
For å estimere fri sikt under røyklag ble tatt utgangspunkt i tre referansepunkter:

termoelement-stang midt i rommet, streker på vegg ved siden av skap, og streker på vegg ved siden av sengen på venstre side. Referansepunktene er fremstilt i Bilde. 3. Den øverste streken er i en høyde på 175 cm og den midterste streken på 135 cm. Det er da 40 cm mellomrom mellom markeringene og kan deles opp i 4 deler på 10 cm, dermed kan høyden estimeres fra den øverste streken. Denne metoden ble brukt til å estimere en høyde på 1,9 m i referansebildet under.



Bilde. 3. Referansebilde for estimering av fri sikt under røyklag.

Termoelementer ble plassert i stenger i seks forskjellige høyder: 300 cm, 250 cm, 200 cm, 180 cm, 150 cm og 130 cm. De ble plassert tre stykker av disse stengene i test rommet som vist i Figur 10. En stang mellom seng og utgang, en stang mellom seng og skrivebord og den siste stangen ble plassert på badet. Plasseringen av termoelement-stengene ble valgt for å gi en helhetlig oversikt over temperaturutviklingen i hele rommet, inkludert badet.



Figur 10. Oversikt over plassering av måleinstrument.

De tre stengene vil videre i rapporten bli referert som T.1 for stangen ved skap, T.2 for stangen mellom seng og skrivebord og T.3 for stangen på bad som vist i Figur 10. Stengene er malt svarte og hvite med 10 cm mellomrom slik at røyklagshøyde kan observeres via kamera. I tillegg ble det også montert termoelement ved røykvarsler, tilluft, avtrekk og ved sprinklerhodene i de forsøkene disse ble benyttet. Det ble også plassert termoelement ved startbrannen.

#### 4.7 TENNKILDE

Som tennkilde i alle brannscenariene ble det brukt en gassbrenner for å antenne tre tennbriketter i en trekrybbe. To av tennbrikettene ble tilført heptan på forhånd, før de ble lagt i et hjørne i trekrybben som vist i Bilde. 4. Trekrybben bestod av bjørkepinner på 18 cm (pinnene stikker ut 4 cm fra den indre firkanten), stablet i høyden med totalvekt på 54 g.



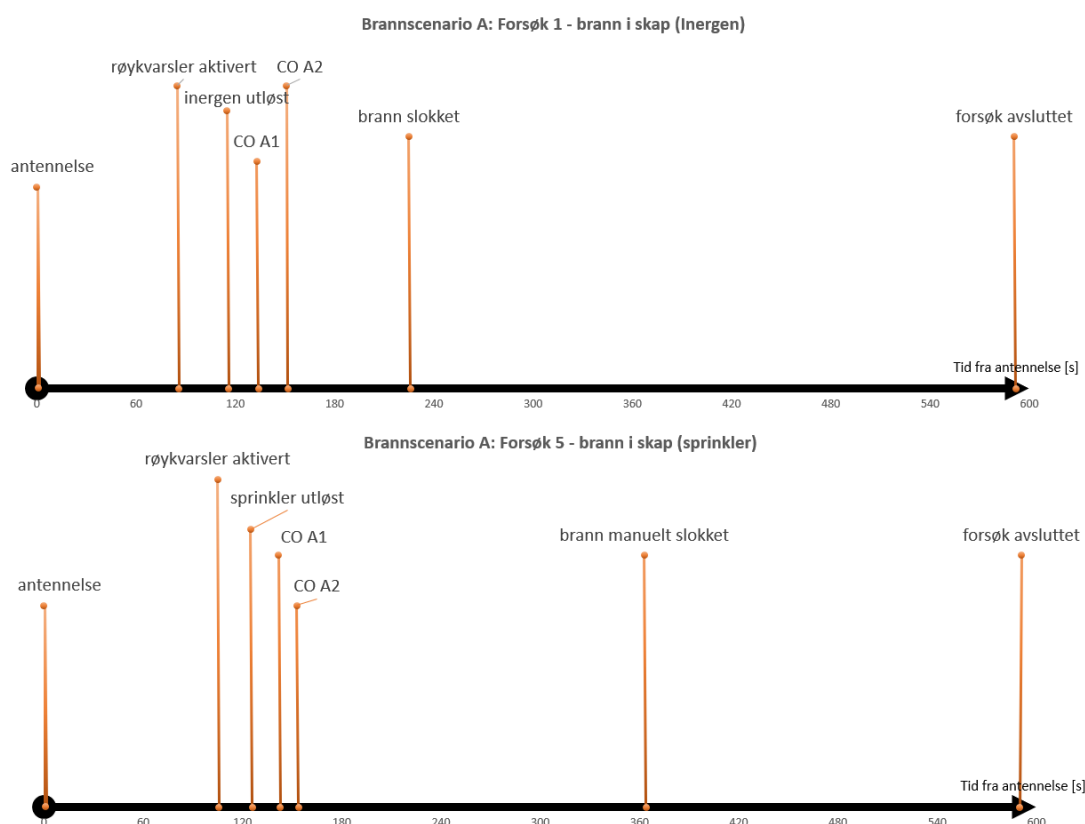
Bilde. 4. Oppsett for tennkilde brukt i forsøkene

## 5 RESULTAT FOR FORSØK

Det ble utført fire fullskala brannforsøk med utgangspunkt i de to utvalgte brannscenariene A og B, henholdsvis; brann i skap og brann i madrass. Resultatene fra forsøkene skal kartlegge når eller om det oppstår kritiske forhold i testrommet. Resultatene blir presentert fra brannstart og frem til 10 minutter, dette er fordi brannen enten slukkes eller forsøk blir avsluttet i dette tidsintervallet. Alle temperaturmålinger er presentert i Vedlegg C – Temperaturmålinger fra forsøkene.

### 5.1 BRANNSCENARIO A

Med utgangspunkt i dette scenariet, brann i skap, ble det utført to forsøk; forsøk 1 med Inergen som slukkesystem og forsøk 5 med sprinkler som slukkesystem. Figur 11 under viser en tidslinje med oversikt over hendelser under brannforløpet i begge forsøkene. Hendelsene ble dokumentert via observasjon gjennom kamera, observatører og målinger. CO-målerens første alarm (CO A1) aktiveres når CO-konsentrasjonen i rommet blir 20 ppm, og andre alarm (CO A2) aktiveres ved 100 ppm.



Figur 11. Brannscenario A: Tidslinje med hendelser for forsøk 1 og forsøk 5.

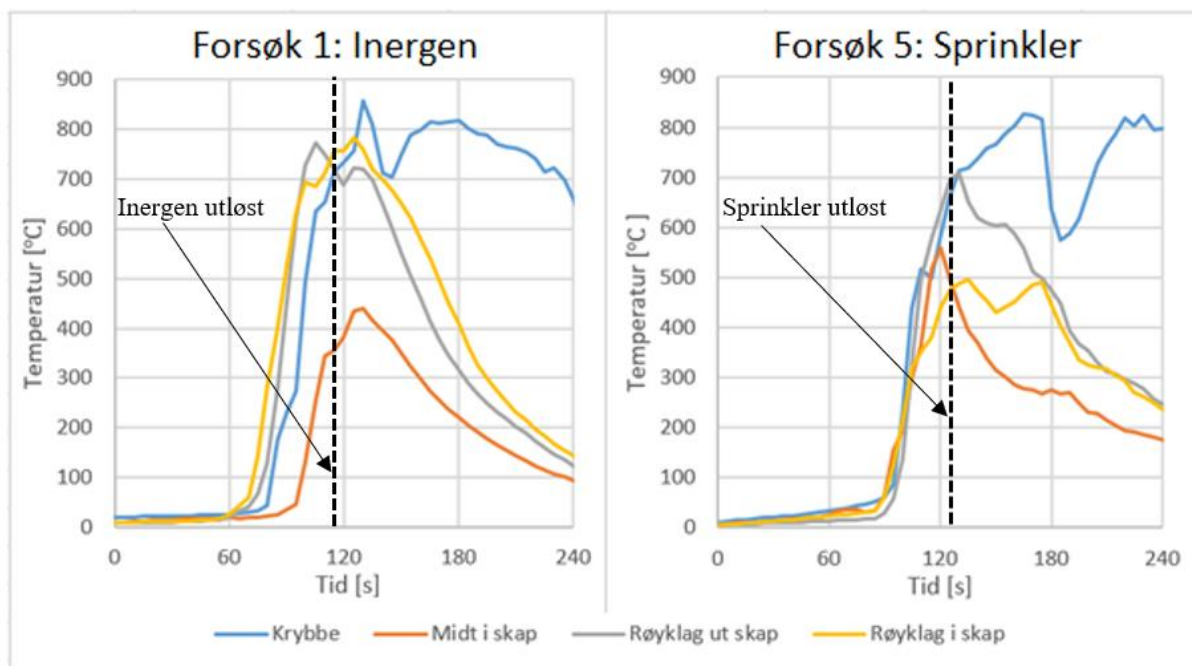


Ved forsøk 1 ble røykvarsler aktivert 85 sekunder etter antennelse, og dermed ble Inergen-anlegget utløst 115 sekunder etter antennelse. CO-alarmene ble utløst 133 sekund (for CO A1) og 151 sekund (for CO A2) etter antennelse.

I forsøk 5 ble røykvarsler aktivert 105 sekund etter antennelse, 20 sekund senere enn ved forsøk 1. Sprinkler ble utløst 20 sekunder etter aktiveringen av røykvarsleren. CO-alarmene ble utløst 142 sekund (for CO A1) og 153 sekund (for CO A2) etter antennelse. Forsøket avsluttes etter 363 sekunder etter antennelse når vanntilførselen til sprinkler blir stengt og brannen blir slukket manuelt.

### 5.1.1 Temperaturmålinger

Målinger ved arnestedet ble utført for å indikere eventuelle forskjeller i brannveksten som kan påvirke andre resultater. Sammenligningen av brannvekst er vist i Figur 12 under.



Figur 12. Brannscenario A: Sammenligning av brannvekst

Det tar litt over 60 sekunder før den «lokale overtenningen» oppstår i forsøk 1. Dette er 25-30 sekunder hurtigere enn ved forsøk 5. Dette tyder på at det er forskjeller i brannvekst som kan påvirke resultater. Betydningen av tidsforskyvningen er diskutert videre i diskusjonskapitlet.

Termoelementet i taket ved sprinkler 1 (nærmest skap) målte temperaturer over 74 °C i tidsintervallet mellom 110 sekund til 125 sekund. Sprinkler 1 utløste ved en temperatur på 219 °C. Disse resultatene viser til temperaturmålinger av komponenter i tak som er lagt i Vedlegg C – Temperaturmålinger fra forsøkene.

Sprinkleranlegget utløste 20 sekunder etter aktivert røykvarsler, mens Inergen-anlegget utløste 30 sekunder etter aktivert røykvarsler. som ble målt av termoelement-stengene i teststrømmet.

Tabell 11 viser de maksimale temperaturene i som ble målt av termoelement-stengene i teststrømmet.

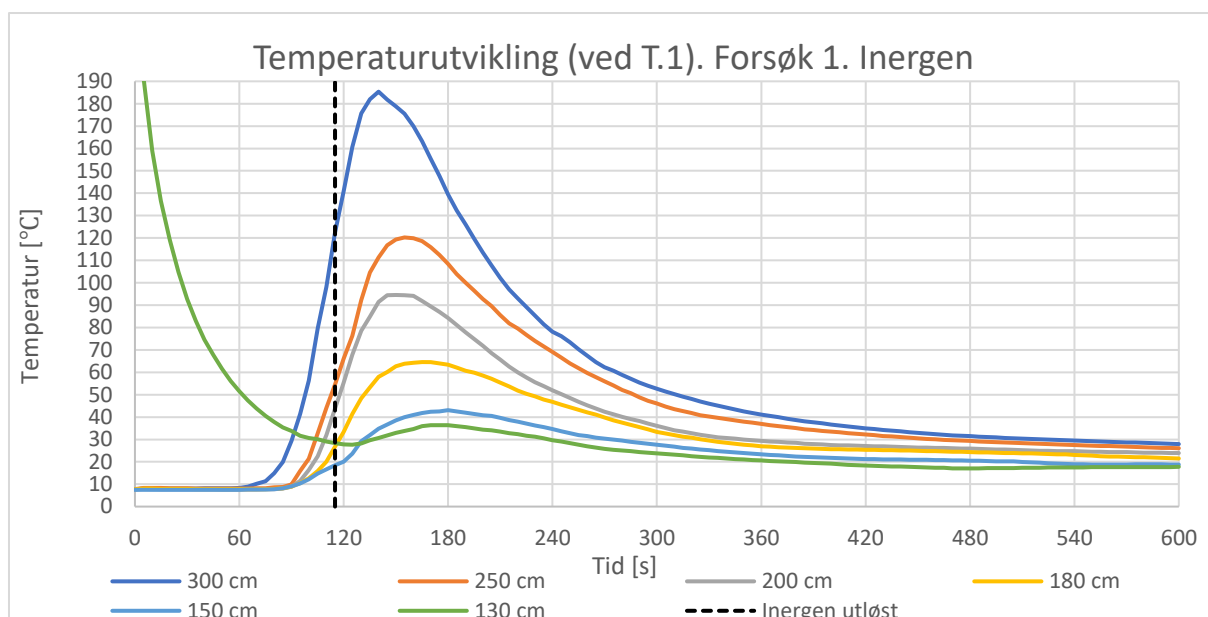
Tabell 11. Brannscenario A: Oversikt over maksimal temperatur på termoelement-stenger.

| Høyde [cm] | Høyest målt temperatur. Inergen [°C]<br>Forsøk 1 |            |          | Høyest målt temperatur. Sprinkler [°C]<br>Forsøk 5 |            |          |
|------------|--|------------|----------|--|------------|----------|
|            | Bad  | Skrivebord | Ved skap | Bad  | Skrivebord | Ved skap |
| 300        | 45   | 124        | 185      | 28   | 124        | 159      |
| 250        | 43   | 114        | 120      | 30   | 78         | 78       |
| 200        | 33   | 102        | 94       | 18   | 54         | 67       |
| 180        | 30   | 60         | 64       | 17   | 30         | 40       |
| 150        | 26   | 41         | 43       | 14   | 23         | 28       |
| 130        | 22   | 32         | 36       | 14   | 20         | 25       |

I forsøk 1 ble maksimumstemperaturene på stengene nådd i et tidsintervall fra 2 min og 25 sek til 3 min 40 sek etter brannstart. Ved T.1 (ved skap) var temperaturen kritisk (over 80 °C) på 300 cm høyde; i 130 sekund, ved 250 cm høyde; i 90 sekund og 200 cm høyde; i 55 sekund. Ved T.2 var den kritisk ved 300 cm høyde; i 80 sekund og 250 cm høyde; i 75 sekund.

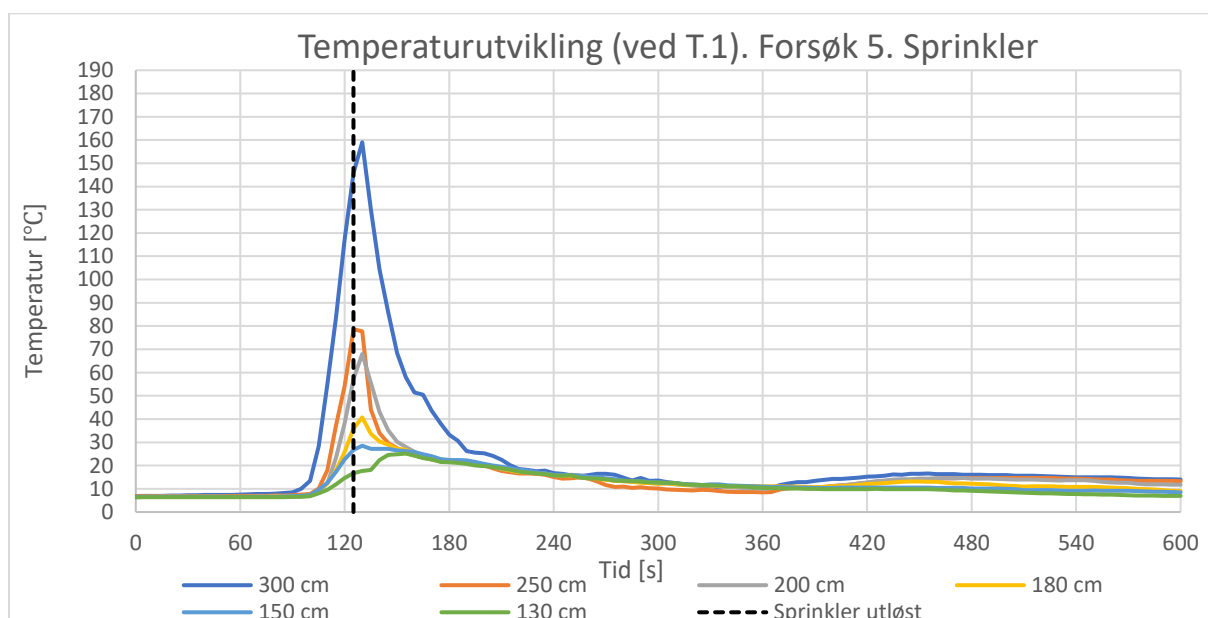
I forsøk 5 ble maksimumstemperaturene på stengene målt i et tidsintervall fra 1 min og 20 sek (T.1) til 2 min og 40 sek (T.3) etter brannstart. Ved T.1 var temperaturen kritisk på 300 cm høyde; i 35 sekund og ved T.2 totalt 30 sekund.

Figur 13 viser resultatene fra temperaturmålingene ved termoelement-stang 1 (T.1) fra forsøk 1. Det tar rundt 70 sekunder før det oppstår temperaturendringer, deretter oppstår det en temperaturøkning til temperaturen når en maksverdi på 185 °C (ved 3 m) etter 140 sekund, 25 sekunder etter utløsning av Inergen.



Figur 13 Brannscenario A: Forsøk 1 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 1, med inergen. Termoelement plassert ved 130 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart, som forklart i delkapittel 4.7.1.

Resultatene fra temperaturmålingene ved samme plassering (T.1) i forsøk 5 viser at det tar rundt 95 sekunder før det oppstår temperaendringer. Deretter oppstår det en temperaturøkning til temperaturen når en maksverdi på 159 °C før den raskt reduseres ved utløsning av sprinkleranlegget.

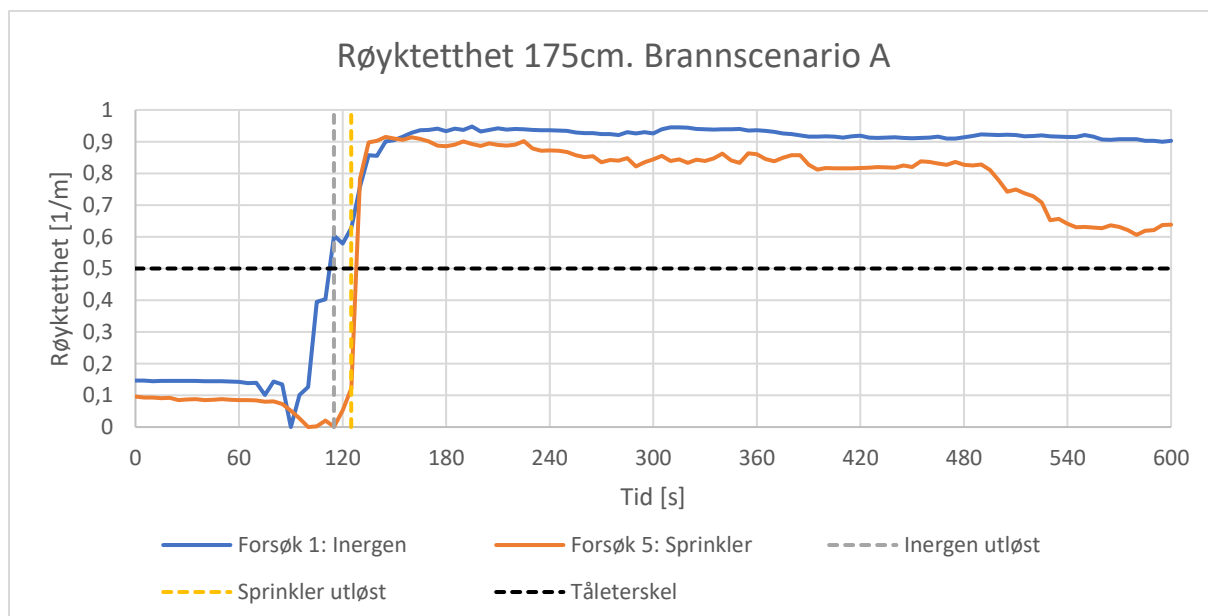


Figur 14 Brannscenario A: Forsøk 5 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 5, med sprinkler.

Temperaturmålingene for de to andre termoelement-stengene (T.2 og T.3) viser en lignende trend for temperaturøkning og temperaturreduksjon.

### 5.1.2 Røyktetthet og sikt under røyklag

Grafen i Figur 15 under, viser hvordan røyktettheten øker gjennom brannforløpet ved 175 cm høyde. Det er valgt å benytte en tåleterskel på 0,5 1/m, som beskrevet i delkapittel 2.3.1. Etter to minutter ligger røyktettheten på 80-90 1/m i en høyde på 175 cm. Ved utløsning av Inergen anlegget er røyktettheten ved forsøk 1 (Inergen) rundt 0,6 1/m. Forsøk 3 (sprinkler) viser at økningen i røyktetthet starter rett før utløsning av sprinkleranlegget.



Figur 15. Brannscenario A. Grafisk fremstilling av røyktetthet.

Røyklagshøyden ble visuelt anslått i begge forsøkene gjennom videoopptak. Bilder fra opptakene ble satt opp mot referansebildet for å estimere tiden før fri sikt under røyklaget blir mindre enn 1,9 m. Bilde. 5 og Bilde. 6 under viser fri sikt under røyklaget ved utløsning av slukkeanleggene satt opp mot referansebildet.



Bilde. 5. Brannscenario A: Forsøk 1 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av Inergen.

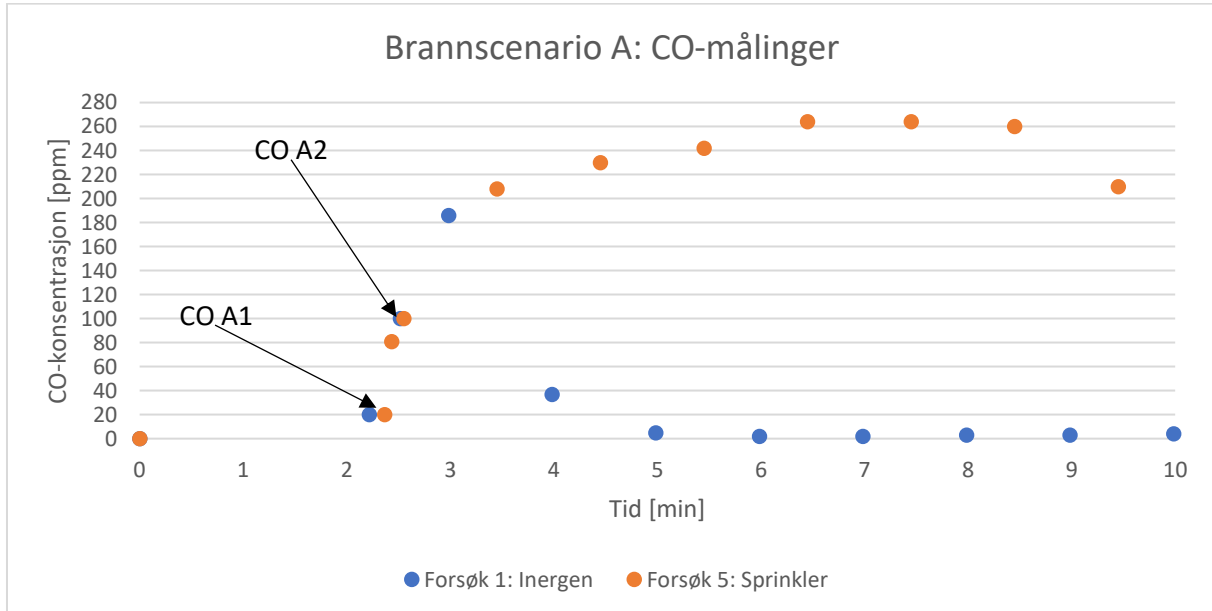


Bilde. 6. Brannscenario A: Forsøk 5 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av sprinkler

Observasjonene viser at fri sikt under røyklaget kan estimeres til å være mellom 2,1 m og 1,9 m i forsøk 1, og mellom 2 m og 1,9 m i forsøk 5.

### 5.1.3 CO-målinger

CO-måleren som ble benyttet under forsøkene måler kun verdier hvert minutt. Plasseringen er ikke den samme i forsøk 1 og 2; for Inergen ble måleren plassert i vindu, og ved sprinkler ble måler plassert under skrivebord. Punktene i diagrammet i Figur 16 viser målte CO-konsentrasjoner [ppm] fra brannscenario A ved forsøk 1 med Inergen-anlegg og forsøk 5 med sprinkleranlegg.



Figur 16 CO-målinger. Punktene i diagrammet indikerer hvor eksakte målinger er loggført av CO-måleren.

Begge grafene viser samme trend i intervallet 0 til 3 minutt, mot slutten av intervallet (ved 165 sekund) ble CO- måleren i forsøk 1 fjernet fra testrommet.

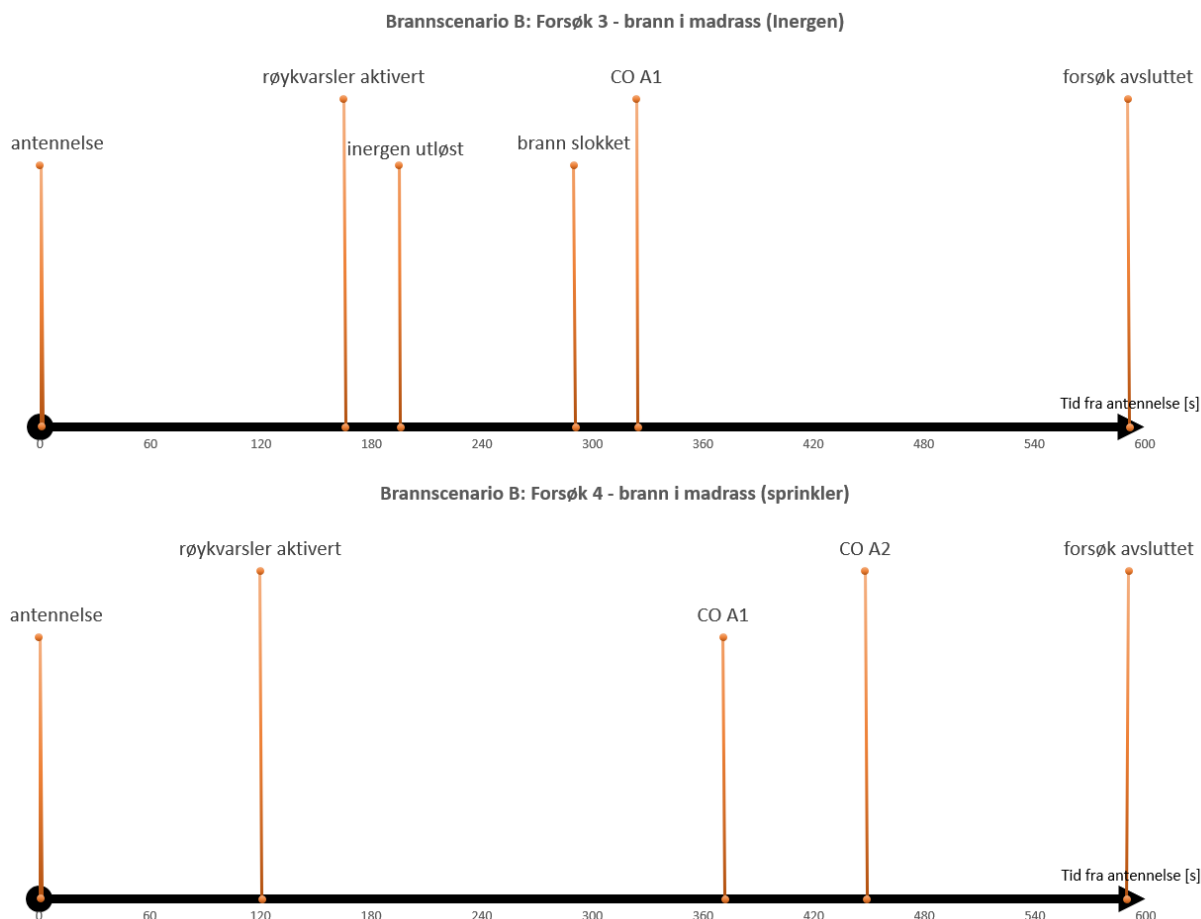
Inergen-anlegget utløses etter 1 min 55 sekund, på denne tiden er konsentrasjonen på vei opp mot maksverdien på 186 ppm, deretter avtar konsentrasjonen bratt mot 37 ppm, i denne perioden har Inergen-anlegget slokket brannen. 1-2 minutter senere er konsentrasjonen nede i 2-5 ppm.

Forsøk 5 følger samme trenden som forsøk 1; 2 minutt og 5 sekund etter antennelse utløses sprinkleranlegget, deretter øker konsentrasjonen raskt mot 186 ppm, videre øker konsentrasjonen gradvis mot maksverdien på 264 ppm, ved dette tidspunktet slokkes brannen manuelt. Maksverdien på 264 ppm opprettholdes i to minutter før den gradvis avtar mot 50 ppm i løpet av 6 minutter.

I scenario A var det synlige kontinuerlige flammer ut av skapet etter 2 minutter (eller 15-35 sekund etter aktivert brannalarm), i taket var det på dette tidspunktet dannet et tykt svart røyklag før Inergen og sprinkler ble utløst. Figur 40 vedlegg C viser skjermbildene ved antennelse, utløst anlegg og når maksverdien for CO registreres. Ut ifra bildene ser det ut som at forholdene med hensyn på røykdannelse vil være ubehagelige for den som oppholder seg i rommet, men ikke kritiske.

## 5.2 BRANNSCENARIO B

Med utgangspunkt i dette scenariet, brann i madrass, ble det utført to forsøk; forsøk 3 med Inergen som slokkesystem og forsøk 4 med sprinkler som slokkesystem. Figur 17 under viser en tidslinje med oversikt over hendelser under brannforløpet i begge forsøkene. Tidspunkt og hendelser er dokumentert ved å bruke observatører som noterte under forsøket, videokamera og datalogger. CO-måleren og oksygenmåleren var plassert under skrivebordet i en høyde 0,5 meter i begge forsøkene. CO-målerens første alarm (CO A1) aktiveres når CO-konsentrasjonen i rommet blir 20 ppm, og andre alarm (CO A2) aktiveres ved 100 ppm.



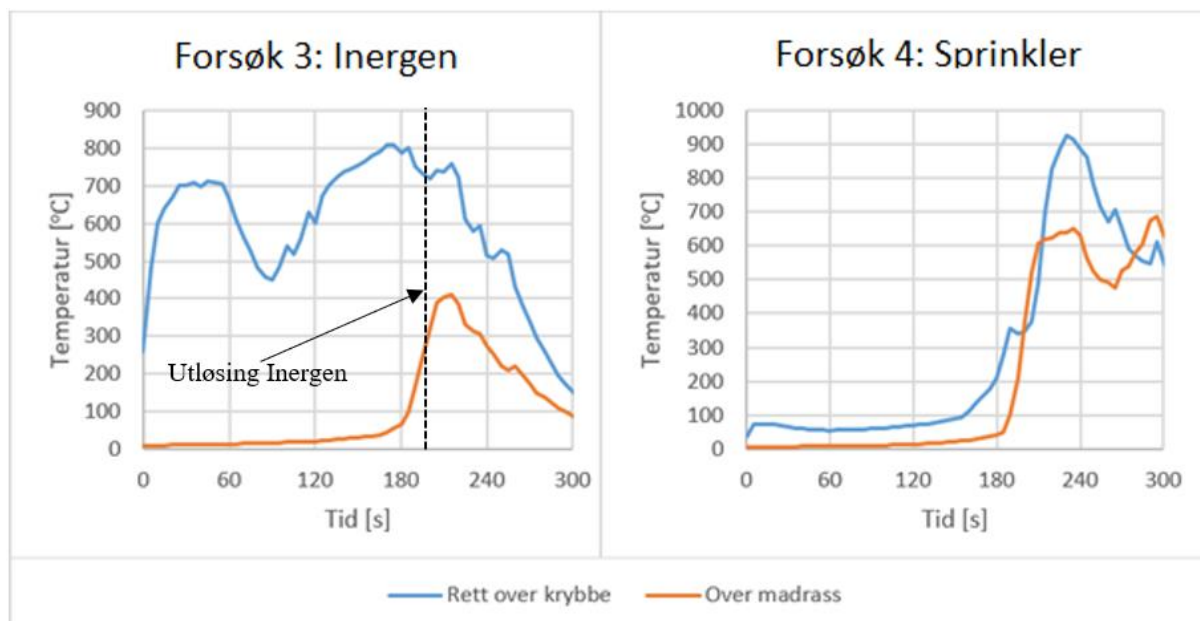
Figur 17. Brannscenario B: Tidslinje med hendelser for forsøk 3 og forsøk 4.

Ved forsøk 3 ble røykvarsleren aktivert 165 sekunder etter antennelse, dermed ble Inergen-anlegget utløst 195 sekunder etter antennelse. Den første alarmen for CO-måleren ble aktivert etter 324 sekunder, på dette tidspunktet er brannen slokkes, den andre CO-måleren aktiveres ikke under forsøket. Brannen slokkes etter 291 sekunder.

Ved forsøk 4 ble røykvarsler aktivert 120 sekunder etter antennelse, 45 sekunder raskere enn i forsøk 3. Sprinkleranlegget aktiveres ikke i dette forsøket. Den første alarmen for CO-måleren aktiveres etter 371 sekunder, og andre alarm aktiveres etter 449 sekunder.

### 5.2.1 Temperaturmålinger

Målinger ved arnestedet ble utført for å indikere eventuelle forskjeller i brannveksten som kan påvirke andre resultater. Sammenligningen av brannvekst er vist i Figur 18 under.



Figur 18 Brannscenario B: Sammenligning av brannvekst

Temperaturmålingene over madrassen viser en lignende trend, med hensyn på temperaturøkningen som oppstår rundt 180 minutter. Temperaturmålingene rett over krybben viser derimot forskjellige trender. Det ble ikke observert betydelige forskjeller i brannveksten, og forskjellene kan være påvirket av plassering av madrass, tennkilde og termoelement.

Figur 35 i viser at sprinkler 2 nærmest brannen oppnår en temperatur på over 74 °C (som er sprinklerhodenes utløsertemperatur) i intervallet 290-485 sekunder, det vil si at sprinklerhodet blir eksponert for denne temperaturen i 205 sekunder.

Tabell 12 viser de maksimale temperaturene i 6 forskjellige høyder i de 3 forskjellige termoelement-stengene for brannscenario B.

Tabell 12 Brannscenario B: Oversikt over maksimaltemperaturer på termoelementstenger.

| Høyde [cm] | Høyest målt temperatur. Inergen [°C]<br>Forsøk 3 |            |          | Høyest målt temperatur. Sprinkler [°C]<br>Forsøk 4 |            |          |
|------------|--|------------|----------|--|------------|----------|
|            | Bad  | Skrivebord | Ved skap | Bad  | Skrivebord | Ved skap |
| 300        | 13   | 23         | 30       | 68   | 101        | 105      |
| 250        | 14   | 19         | 25       | 72   | 89         | 96       |
| 200        | 12   | 19         | 19       | 71   | 90         | 95       |
| 180        | 11   | 18         | 16       | 67   | 80         | 97       |
| 150        | 10   | 15         | 13       | 59   | 78         | 82       |
| 130        | 10   | 13         | 13       | 51   | 60         | 67       |



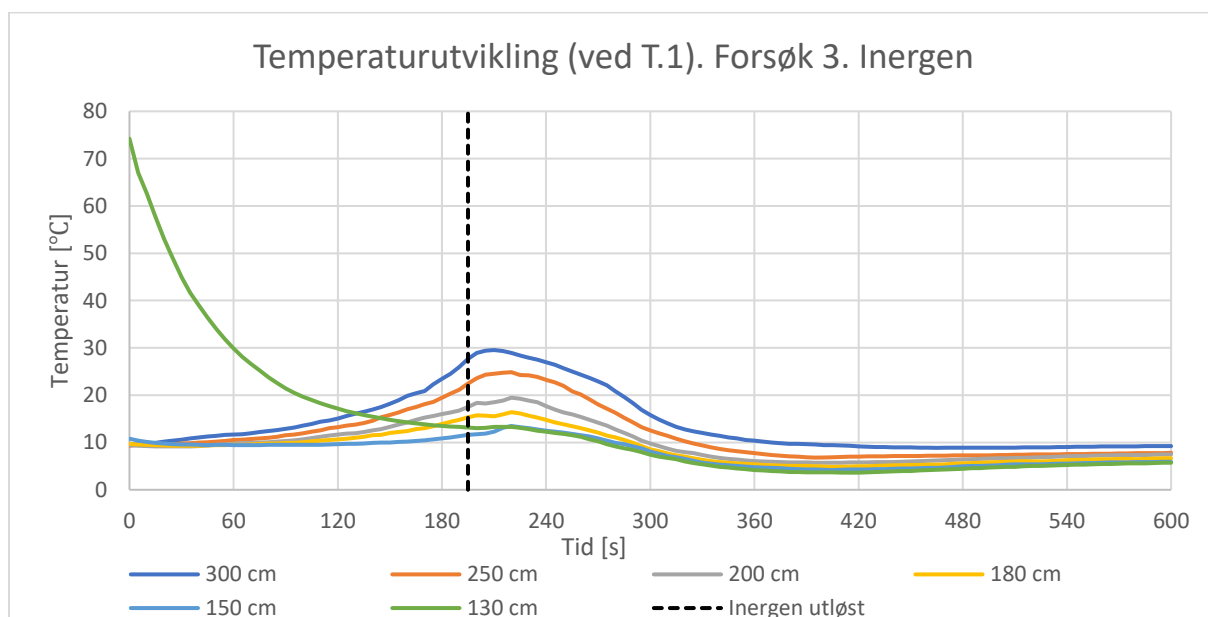
Tabell 12 viser en maksimal temperatur 30 °C for forsøk 3 etter 210 sekund på en høyde 300 cm ved skap (T.1). Det ble ikke registrert kritiske temperaturer (over 80 °C) ved disse høydene i forsøk 3.

Maksimal temperatur i forsøk 4 ble målt til 105 °C ved 300 cm høyde ved skap (T.1), etterfulgt av 101 °C ved samme høyde ved skrivebord (T.2). Som Tabell 12 viser, er det tydelige forskjeller med hensyn på maksimaltemperaturer i forsøk 3 og 4, som skyldes utløsning av Inergen men ikke utløsning av sprinkler.

Utviklingen av temperatur ved T.1 er vist i Figur 19 for forsøk 3 og i Figur 20 for forsøk 4.

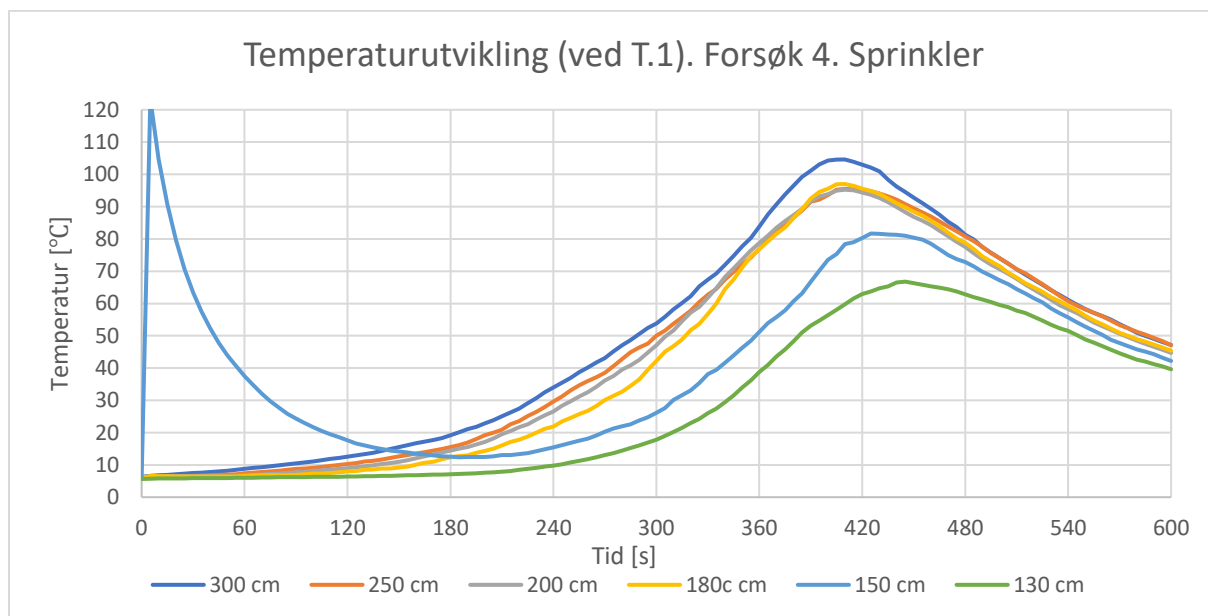
Ved T.1 ble det registrert kritisk temperatur på 300 cm høyde; i 115 sekund, 250 cm høyde; i 110 sekund, 180-200 cm høyde; i 105 sekund og 150 cm høyde; i 35 sekund. Ved T.2 ble det registrert kritisk temperatur på 300 cm høyde; i 135 sekund, 200-250 cm høyde; i 90 sekund og 180 cm høyde; i 20 sekund.

Resultatene fra forsøk 3 viser i Figur 19 at det er en sakte temperaturutvikling ved T.1, og at temperaturene ligger langt under 80 °C som defineres som kritiske forhold. Det er også en tydelig lagdeling, hvor maksimaltemperaturene fra 130-300 cm høyde er i rekkefølge; temperaturen i taket ved 300 cm er høyest, etterfulgt av 250 cm, 200 cm, 180 cm, 150 cm og 130 cm. Maks temperatur nås i intervallet 210-320 sekund etter antennelse.



Figur 19 Brannscenario B: Forsøk 3 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 3, med inergen. Termoelement plassert ved 130 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart.

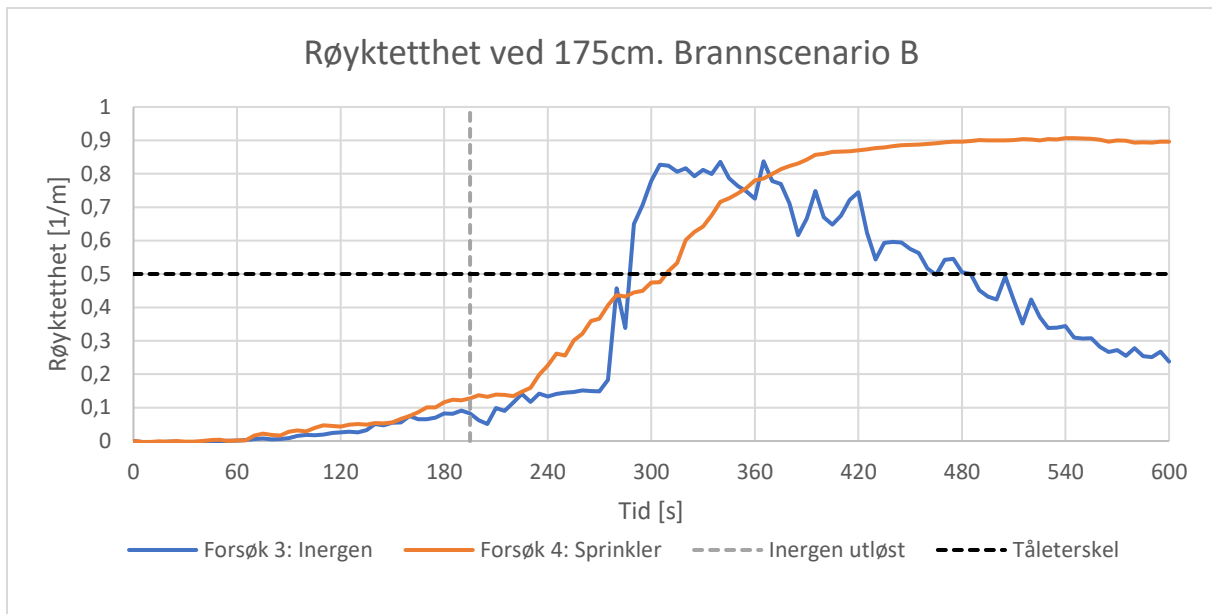
Resultatene fra forsøk 4 viser i Figur 20 at temperatuene i de ulike høydene har en sakte varmeutvikling inntil makstemperaturer nås i intervallet 415-450 sekund etter antennelse. Kritiske forhold oppstår ved 300 cm høyde etter 355 sekund etterfulgt av 250 cm, 200 cm og 180 cm 10 sekunder senere. Etter 480 sekund er alle termoelementene under 80 °C.



Figur 20 Brannscenario B: Forsøk 4 - Temperaturutvikling ved skap (T.1) for forsøk 4, med sprinkler. Termoelement plassert ved 150 cm høyde ble varmet opp med gassbrenner ved starten av forsøket for å indikere brannstart. Sprinkleranlegg blir ikke utløst i dette forsøket.

### 5.2.2 Røyktetthet og sikt under røyklag

Grafen i Figur 21 under viser hvordan røyktettheten øker gjennom brannforløpet. Det er valgt å benytte en tåleterskel på 0,5 1/m, som beskrevet i delkapittel 2.3.1. I forsøk 3 (Inergen) øker røyktettheten til 0,15 1/m mellom brannstart og til det har passert 270 sekunder. Deretter oppstår det en hurtig økning fra 0,15 1/m til 0,8 1/m. Røyktettheten holdes på 0,7 1/m - 0,8 1/m før den begynner å avta ved 365 sekund.



Figur 21. Brannscenario B. Grafisk fremstilling av røyktetthet.

Ved forsøk 4 (sprinkler) starter økningen ved 60 sekund, og øker jevnt opp til 0,9 1/m i tidsintervallet mellom 60 sekund og 480 sekund. Røyktettheten måles til å være 0,9 1/m frem til forsøket avsluttes. Funksjonen fra forsøk 4 viser hvordan røyktettheten vil øke gjennom brannforløpet dersom slokkesystem ikke aktiveres.

Røyklagshøyden ble visuelt anslått gjennom kameraopptak. Bilder fra kameraopptakene ble satt opp mot referansebildet for å estimere tiden før fri sikt under røyklaget blir mindre enn 1,9 m. Bilde. 7 og Bilde. 8 under viser fri sikt under røyklaget ved utløsning av Inergen i forsøk 3 og ved 4 minutt og 25 sekunder for forsøk 4, hvor fri sikt under røyklag ble estimert til å være 1,9 m.



Bilde. 7. Brannscenario B: Forsøk 3 - Fri sikt under røyklag ved utløsning av Inergen.



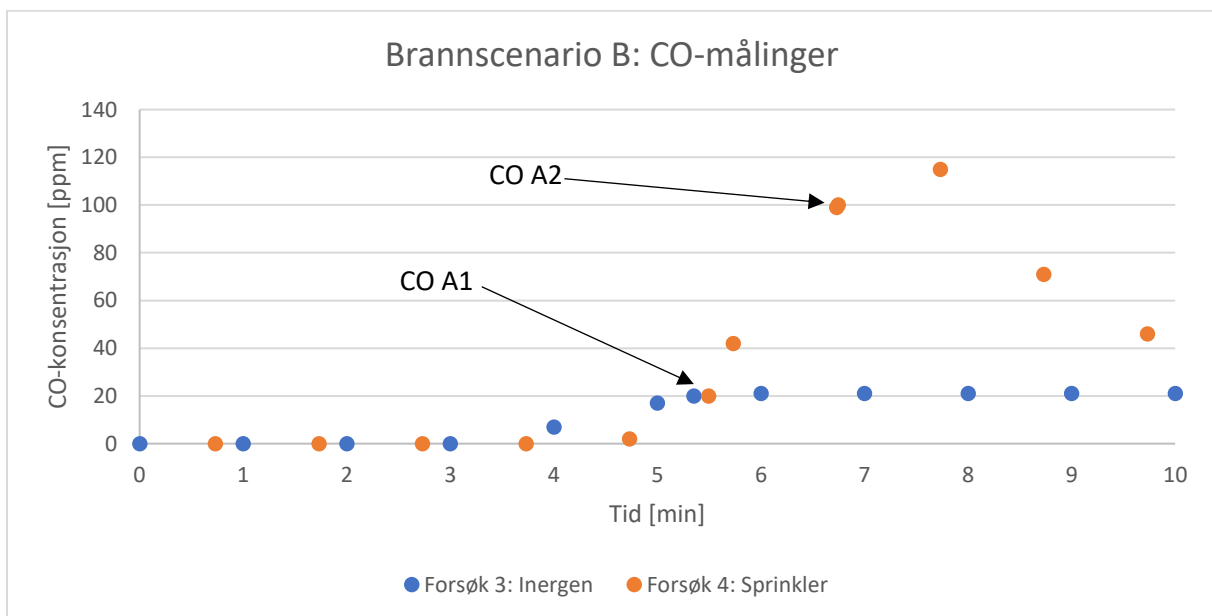
Bilde. 8. Brannscenario B: Forsøk 4 - Fri sikt under røyklag ved 4 min 25 sek.

Observasjonene viser at fri sikt under røyklaget for forsøk 3 er høyere enn 1,9 m. Ved forsøk 4 ble det ikke utløsning av sprinkleranlegget og fri sikt under røyklaget nådde 1,9 m ved rundt 4 minutter og 25 sekunder.

### 5.2.3 CO-målinger

CO-måleren som ble benyttet under forsøkene måler kun verdier hvert minutt, måleren ble plassert under skrivebordet, som vist tidligere i delkapittel 4.6 i Figur 10.

Punktene i diagrammet i Figur 22 viser målte CO-konsentrasjoner [ppm] fra brannscenario B (brann i madrass) ved forsøk 1 med Inergen-anlegg og forsøk 5 med sprinkleranlegg.



Figur 22. Brannscenario B: CO-målinger.

Grafen viser samme trend i intervallet 0 til 3 minutt for begge forsøkene. Inergen-anlegget løses ut etter 3 minutt og 15 sekund, videre øker CO-konsentrasjonen gradvis over 21 sekund til 21 ppm, i denne perioden slukker Inergen-anlegget brannen. Konsentrasjonen holdes

konstant på 20-21 ppm de neste 10 minuttene inntil forsøket er ferdig, det ble observert at grafen i forsøk 3 flatet ut på 21 ppm etter at forsøket var ferdig.

Forsøk 4 følger samme trenden som forsøk 3 de første 5 minuttene, men forsøk 4 har en brattere stigning til 40 ppm. Videre øker konsentrasjonen til 100-115 ppm, før den avtar ned mot 4 ppm.

Det ble observert en svak røykdannelse på det tidspunktet Inergen-anlegget utløste i forsøk 3, Figur 41 i Vedlegg C – Temperaturmålinger fra forsøkene, viser skjermbildene ved antennelse, utløst anlegg og når maksverdien for CO registreres. På grunn av at sprinkleranlegget i forsøk 4 ikke utløste, ga dette et bilde av røykdannelsen dersom brannen fikk fortsette uhindret. Som Figur 41 viser, var røyklaget ved tiden 07:44 omtrent nede i en meters høyde over gulvet.

## 6 ANALYSEN

---

I dette kapitlet har analysegruppen utført en kvalitativ risikoanalyse som ser på to brannscenarier i et pasientrom for å vurdere konsekvenser og effekt brannen kan ha. Risikoanalysen ser først på hvilke farekilder og årsaker som ble avdekket under de kvalitative intervjuene og dataanalysen beskrevet i delkapittel 3.2. Konsekvensene og effekten av brannen og de to slokkesystemene blir analysert, og vil gi en forståelse av risikobilde i pasientrommet.

Risikoevalueringen ser man på resultatene fra risikoanalysen til å vurdere Inergen som alternativ løsning.

### 6.1 MÅL FOR RISIKOANALYSEN

Til å vurdere om Inergen kunne vært en alternativ løsning til sprinkler var det behov å begrense omfanget av analysen. Gjennom dialog med Øyvind Thoresen Hovedbrannvernleder på St. Olavs hospital, ble det gitt inntrykk av hvilken type risiko det ville være interessant å vurdere. Basert på samtalen ble det bestemt å se på risiko for områdene driftsforstyrrelser, personsikkerhet og økonomiske konsekvenser ved brann på pasientrom.

*Driftsforstyrrelser* – Dersom pasientrommet er ubeboelig over lengre tid, må pasientene omplasseres til tilsvarende institusjoner og omfattende ekstraordinære tiltak må iverksettes for å håndtere situasjonen. Det vil bli sett på konsekvenser som kan medføre nedetid av pasientrommet.

*Personsikkerhet* – Kan brannen medføre konsekvenser for personsikkerheten i rommet med tanke på kritiske forhold i rom eller hindre evakuering av pasient.

*Økonomiske konsekvenser* – Det vil bli vurdert økonomiske konsekvenser, med hensyn til skader forårsaket av brann, utløst slokkesystem og kostnader tilknyttet reset av slokkesystem for et pasientrom.

### 6.2 FAREIDENTIFIKASJON OG UØNSKEDE HENDELSER

Til å identifisere mulige farekilder ble det brukt informasjon anskaffet ved bruk av metoder beskrevet tidligere. Gjennom dialog med Tore Johan Breivik avdelingsleder Post A og Øyvind Thoresen hovedbrannvernleder på St. Olavs hospital, ble det avdekket hvilke

farekilder som er tilstede og en systembeskrivelse av pasientrommet. Fra brannstatistikk tilsendt av DSB ble det hentet ut informasjon om antall rapporterte branner relatert til et pasientrom, hva som var rapportert brannårsak og hva brannen startet i. Statistikk fra DSB for branner i næringsbygg med næringskode 86.104 [32] i kategorien døgnbemannet institusjoner innen psykisk helsevesen for voksne er presentert i Tabell 13

Tabell 13. Rapporterte branner i pasientrom i årene fra år 2010-2018

| Rapporterte branner i pasientrom for hele landet |               | Brannårsak       |                  | Hva startet brannen i. |                     |            |
|--|---------------|------------------|------------------|------------------------|---------------------|------------|
| År rapportert                                    | Totalt antall | Påsatt/tilsiktet | Ikke spesifisert | Tekstiler og møbler    | Madrass og sengetøy | Annet      |
| 2010   | 5             | 0                | 5                | 1                      | 2                   | 2          |
| 2011   | 9             | 4                | 5                | 2                      | 5                   | 1          |
| 2012   | 2             | 1                | 1                | 1                      | 1                   | 0          |
| 2013   | 10            | 5                | 5                | 1                      | 7                   | 2          |
| 2014   | 5             | 3                | 2                | 2                      | 0                   | 3          |
| 2015   | 6             | 3                | 3                | 3                      | 2                   | 1          |
| 2016   | 4             | 1                | 3                | 2                      | 2                   | 1          |
| 2017   | 5             | 2                | 3                | 5                      | 0                   | 0          |
| 2018   | 8             | 2                | 6                | 0                      | 4                   | 3          |
| <b>Totalt</b>                                    | <b>54</b>     | <b>21</b>        | <b>33</b>        | <b>17</b>              | <b>23</b>           | <b>13</b>  |
| <b>Gjennomsnitt per år</b>                       | <b>6</b>      | <b>2,3</b>       | <b>3,7</b>       | <b>1,9</b>             | <b>2,6</b>          | <b>1,4</b> |

På bakgrunn av den tilgjengelige informasjonen ble det brukt en grovanalyse til å belyse hvilke hendelser som kan være viktig å studere nærmere, analysen er presentert i Vedlegg F – Innledende analyse. Basert på resultatene fra grovanalysen og dialog med hovedbrannvernleder ved St. Olavs hospital ble to brannscenarier valgt å studere videre. Scenariene er beskrevet i kapittel 3.4.1.

### 6.3 ANALYSE AV ÅRSAKER OG SANNSYNLIGHET.

Gjennom dialog med hovedbrannvernleder Øyvind Thoresen og avdelingsleder for Post A Tore Johan Breivik ved St. Olavs hospital, kom det frem at en av de vanligste årsakene for brann på pasientrom erfaringsmessig er en tilsiktet hendelse hvor en pasient ønsker å starte brann. Dette samsvarer med tallene vist i Tabell 13, hvor det ble rapportert at brannårsaken var påtent/tilsiktet i 38 prosent av de rapporterte brannene mellom 2010-2018.

Pasienter har ikke tilgang på tennkilder som lighter eller fyrstikker, men det finnes lightere i avdelingen som oppbevares i røykekabinett. Ifølge Tore Johan Breivik har det forekommet

påsatte branner på avdelingen, men det skjer veldig sjeldent. Brannene har blitt oppdaget tidlig og ikke medført store konsekvenser. Breivik mener at sannsynligheten for at en pasient klarer å få med seg en tennkilde på pasientrommet er liten, men at det ikke kan utelukkes.

For tilsiktede uønskede hendelser vil årsakene være så sammensatte og omskiftelige at kvantitativ sannsynlighet vanligvis ikke kan benyttes. Brannstatistikk er derfor brukt til å gi en innbyrdes rangering av scenarier basert på analysegruppens faglige vurdering [34]. Basert på informasjon fra St. Olavs hospital og brannstatistikk fra lignede institusjoner i Norge er det derfor blitt gjort en kvalitativ vurdering at sannsynligheten for at en pasient klarer å starte en brann i pasientrom er lav.

Tabell 14 brukes til å vurdere sannsynligheten til en hendelse. Det er verdt å merke seg at sannsynligheten her ikke en matematisk størrelse, men heller en antagelse av en pasients mulighet for å starte en brann, derfor vil risikoanalysen innebære en viss grad av subjektivitet [34].

Tabell 14 Kriterier til kvalitativ vurdering av sannsynlighet av hendelser [34]

| Grad av sannsynlighet | Kriterier brukt til å estimere sannsynlighet   |
|-----------------------|--|
| 1<br>Lav              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Statistikk</li><li>• Aktive sikringstiltak</li><li>• Passive sikringstiltak</li><li>• Erfaring</li></ul> |
| 2<br>Moderat          |  |
| 3<br>Høy              |  |
| 4<br>Meget høy        |  |
| 5<br>Svært Høy        |  |

## 6.4 KONSEKVENSANALYSE

For å analysere konsekvenser knyttet til brannscenariene er det brukt en kvalitativ hendelsetre-analyse, som beskrevet i NS-ISO 31010 [30]. Analysen brukes til å avdekke mulige hendelseskjeder og utfall av de valgte brannscenariene. Konsekvensene og effekten av hver enkelt hendelseskjede blir vurdert for å danne en forståelse av risikobilde.

For hendelsetre blir en kvalitativ vurdering av sannsynligheten til starthendelsen utført der sannsynligheten er vurdert som lav. Sannsynligheten for den enkle hendelseskjeden eller



enkelt tilstand kan inntreffe etter starthendelsen blir ikke vurdert. Analysegruppen har ikke nok kunnskap til å vurdere dette kvalitativt eller tilgang på tilstrekkelig datagrunnlag for en kvantitativ vurdering. Det er verdt å merke seg at det ikke har vært noen dødsfall på grunn av brann i/på Sykehus i hele Norge for perioden 2010-2018 <sup>2</sup>.

#### 6.4.1 Identifisering av barrierer

Kartlegging av barrierer som er installert i pasientrommet som kan hindre utviklingen eller kan redusere konsekvensene ved brann ble identifisert. Barrierer som er installert/brukt på pasientrom ble kartlagt gjennom informasjon innhentet fra dialog med hovedbrannvernleder på St. Olavs hospital.

En vurdering av effekten eksisterende barrierer har på brannutvikling, konsekvenser av brann og hvor de vil påvirke utfallet ble avdekket. Effekten, aktiveringsrekkefølgen og hvilken tilstand/hendelse de påvirker hendelsetre er beskrevet i Vedlegg G – Identifisering av barrierer.

#### 6.4.2 Konstruksjon av hendelsetre

Basert på aktiveringsrekkefølgen av eksisterende barrierer ble det valgt å konstruere et hendelsetre, som vist i Figur 23 med følgende hendelser/barrierer:

*Starthendelsen* - Pasient prøver å starte en brann. Fra denne starthendelsen er det tre hendelser som vil påvirke utviklingen og/eller konsekvensene til hendelseskjedene.

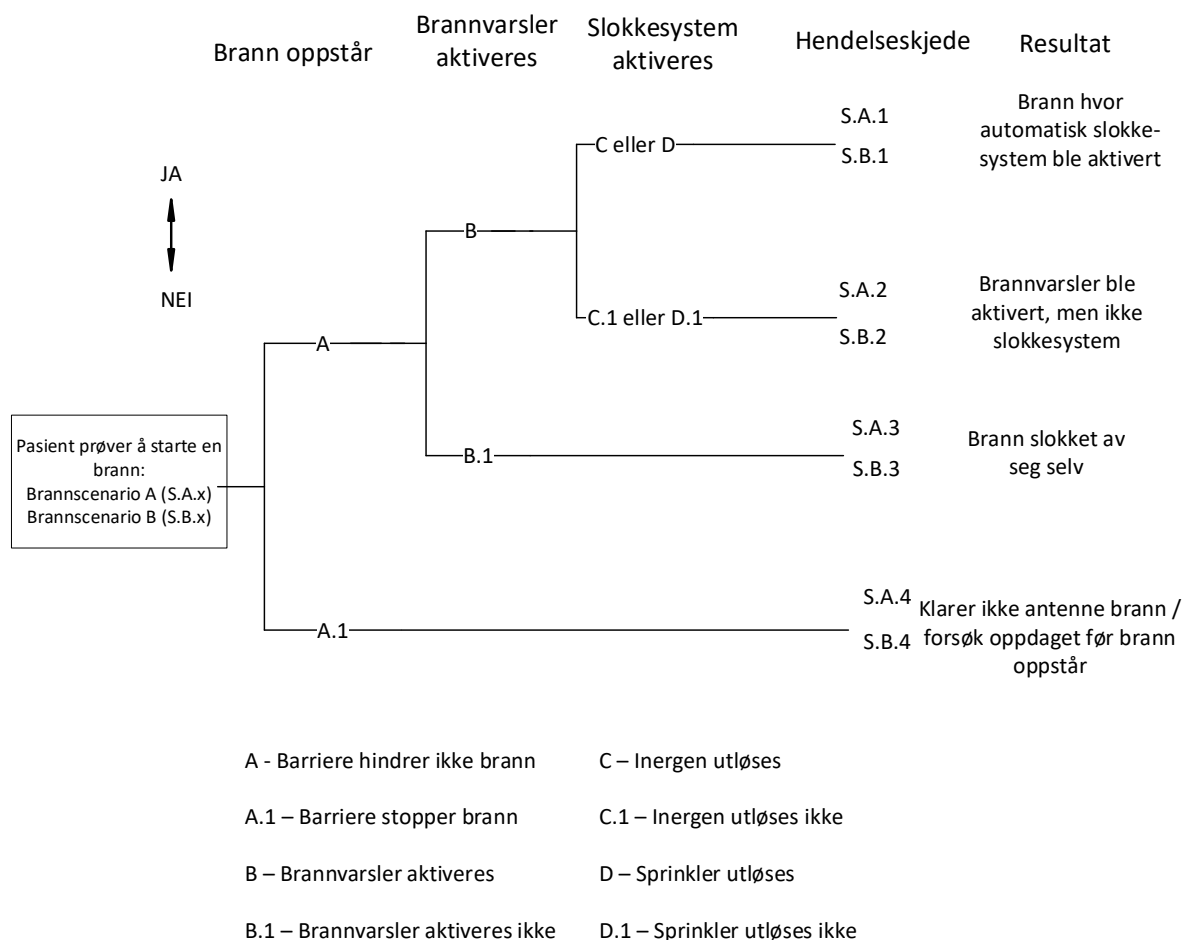
*Brann oppstår* – Pasient klarer å starte en brann som ikke oppdages av avdelings ansatte, eller stoppes av eksisterende barrierer.

*Røykvarsler aktiveres* – Brann med tilstrekkelig brannenergi/røyk til å aktivere brannalarm.

*Slokkesystem aktiveres* – Brannen har utviklet nok røyk til å utløse automatisk slokkesystem.

---

<sup>2</sup> Statistikk tilsendt av Reidun Mo, rådgiver ved DSB.



Figur 23 Hendelsetre som viser de ulike hendelseskjedene for brannscenario A og B

Tabell 15 beskriver de ulike veivalgene hvor barrierer eller hendelser påvirker utfallet og leder til de fire ulike hendelseskjede 1, 2, 3 og 4 i Figur 23 etter at en pasient prøver å starte en brann.

Tabell 15 Beskrivelse av de ulike hendelseskjedene

| Hendelse skjede | Beskrivelse av de ulike hendelseskjedene fra Figur 23. S.A.1 Inergen leses som: Brannscenario A, hendelseskjede 1 – Inergen   |
|-----------------|---|
| S.A.1<br>S.B.1  | <p>Hendelseskjede S.A.1 og S.B.1 Inergen (C)<br/>Pasient prøver å starte en brann og det oppstår en brannutvikling. Brannen produserer nok røyk til å aktivere røykvarsler. Inergen utløses 30 sekunder etter brannalarm er blitt aktivert.</p> <p>Hendelseskjede S.A.1 og S.B.1 Sprinkler (D)<br/>Pasient prøver å starte en brann og det oppstår en brannutvikling. Brannen produserer nok røyk for at røykvarsler aktiveres. Brann utvikler seg til å ha nok varme for at sprinklerhode utløses.</p> |

|                |  |
|----------------|--|
| S.A.2<br>S.B.2 | Pasient prøver å starte en brann og det oppstår en brannutvikling. Brannen produserer nok røyk til å aktivere røykvarsler. Automatisk slokkesystem utløses ikke.<br>Hendelseskjede<br>S.A.2 og S.B.2 Inergen (C.1)– Inergen utløses kun om røykvarsler aktiveres<br>S.A.2 og S.B.2 Sprinkler (D.1) – Sprinkler utløses kun når brannen avgir nok varme |
| S.A.3<br>S.B.3 | Pasient prøver å starte en brann og det oppstår liten brannutvikling, passive barrierer fører til at brann slokker av eller oppdages av ansatte.   |
| S.A.4<br>S.B.4 | Pasient prøver å starte en brann og det oppstår ikke brannutvikling  |

### 6.4.3 Konsekvensvurdering

For å vurdere konsekvensene til de enkelte hendelseskjedene ble observasjoner og resultater fra fullskala brannforsøk brukt som hoved datagrunnlag. Analysegruppen brukte også enkle håndberegninger og informasjon hentet fra litteraturstudie som supplement for datagrunnlaget. Analysegruppen gjennomførte kvalitative vurderinger av sluttkonsekvensene og mulige effekter de enkelte hendelseskjedene kan medføre. Mulige konsekvenser som kan påvirke drift, personsikkerhet eller økonomiske konsekvenser ble vurdert hvor en samlet begrunnelse av analysegruppens vurderinger er kommentert i Vedlegg H - Kvalitativ vurdering av konsekvens. Resultatene fra konsekvensvurderingen vises i Tabell 16, Tabell 17 og Tabell 18. Konsekvenskriterier er beskrevet i Tabell 19.

Tabell 16 Resultater konsekvensvurdering for personsikkerhet av de enkelte hendelseskjedene.

| <b>Resultater konsekvensvurdering for personsikkerhet av de enkelte hendelseskjedene.</b> |             |                          |
|---|-------------|--------------------------|
| Hendelseskjede  | Konsekvens  | Kommentar til konsekvens |
| S.A.1 Inergen (C)   | Liten       | Mindre personskader      |
| S.A.1 Sprinkler (D)   | Liten       | Mindre personskader      |
| S.A.3 og S.A.4  | Svært liten | Ingen personskader       |
| S.B.1 Inergen (C)   | Svært liten | Ingen personskader       |
| S.B.2 Sprinkler (D.1)   | Liten       | Mindre personskader      |
| S.B.3 og S.B.4  | Svært liten | Ingen personskader       |

Tabell 17 Resultater konsekvensvurdering for driftssikkerhet av de enkelte hendelseskjedene.

| <b>Resultater konsekvensvurdering for driftssikkerhet av de enkelte hendelseskjedene.</b> |             |                                      |
|---|-------------|--------------------------------------|
| Hendelseskjede  | Konsekvens  | Kommentar til konsekvens             |
| S.A.1 Inergen (C)   | Middels     | Nedetid 2 – 7 døgn                   |
| S.A.1 Sprinkler (D)   | Stor        | Kan medføre nedetid i mer enn 1 uke. |
| S.A.3 og S.A.4  | Svært liten | Ingen nedetid                        |
| S.B.1 Inergen (C)   | Svært liten | Ingen nedetid                        |
| S.B.2 Sprinkler (D.1)   | Liten       | Nedetid < 2 døgn                     |
| S.B.3 og S.B.4  | Svært liten | Ingen nedetid                        |

Tabell 18 Resultater konsekvensvurdering økonomiske konsekvenser.

| <b>Resultater konsekvensvurdering økonomiske konsekvenser.</b> |             |                         |
|--|-------------|-------------------------|
| Hendelseskjede   | Konsekvens  | Kommentar til kostnader |
| S.A.1 Inergen (C)  | Liten       | 50 000 – 100 000 kr     |
| S.A.1 Sprinkler (D)  | Liten       | 50 000 – 100 000 kr     |
| S.B.1 Inergen (C)  | Liten       | 50 000 – 100 000 kr     |
| S.B.2 Sprinkler (D.1)  | Svært liten | opptil 50 000 kr        |

Tabell 19 Kriterier til vurdering av konsekvens

| <b>Kriterier til vurdering konsekvens</b> |   |
|---|---|
| Betegnelse                                | Konsekvensbeskrivelse for<br>a) Driftsforstyrrelser<br>b) Personikkerhet<br>c) Økonomiske konsekvenser  |
| <b>Svært liten</b>                        | a) Ingen nedetid. Få eller små endringer i forhold til operativ evne<br>b) Ingen personskader<br>c) Økonomiske konsekvenser opptil 50 000 kr  |
| <b>Liten</b>                              | a) Nedetid < 2 døgn. Viktig funksjon kan ikke opprettholdes, eller ekstraordinære tiltak må iverksettes for å håndtere situasjonen.<br>b) Mindre personskader<br>c) Økonomiske konsekvenser 50 000 – 100 000 kr                     |
| <b>Middels</b>                            | a) Nedetid 2 døgn til 1 uke. Viktige funksjon kan ikke opprettholdes eller omfattende ekstraordinære tiltak må iverksettes for å håndtere situasjonen<br>b) Alvorlig personskade<br>c) Økonomiske konsekvenser 100 000 – 200 000 kr |
| <b>Stor</b>                               | a) Nedetid mer enn 1 uke. Vital funksjon kan ikke opprettholdes<br>b) Inntil 1 person omkommer og/eller flere personskader<br>c) Økonomiske konsekvenser 200 000 – 500 000 kr   |
| <b>Svært stor</b>                         | a) Nedetid mer enn 1 år. Vital funksjon kan ikke opprettholdes<br>b) Død/alvorlig masseskade av flere personer<br>c) Økonomiske konsekvenser 500 000 kr ->  |

## 6.5 RESULTATER OG BESKRIVELSE AV RISIKO

På bakgrunn av resultatene fra årsaks- og sannsynlighetsanalysen og konsekvensanalysen for de ulike brannscenarioene skal risikoen her bli beskrevet. Hensikten er å gi en forståelse av risikonivået for personikkerhet, driftsforstyrrelser og økonomiske konsekvenser.

Risikonivået ble bestemt ved å kombinere sannsynlighet og sluttkonsekvens, hvor resultatene er beskrevet i en risikomatrise.

Analysegruppen har prøvd å utføre vurderingene så objektivt som mulig, men resultatene baserer seg på en kvalitativ vurdering av sannsynlighet og konsekvenser, resultatene fra risikoanalysen vil derfor inneholde en viss grad av subjektivitet [34].

Resultatene i Tabell 20 viser at det er lav risiko ved en brann i pasientrom med hensyn til personsikkerhet. Det ble observert at begge slokkesystemene klarte å kontrollere/slokke brannen i scenario A, som hadde en relativt hurtig brannutvikling. Det gjør det lettere for de ansatte å evakuere pasienten.

I brannscenario B er det en relativ sakte brannutvikling, Inergen i S.B.1 utløses etter røykdeteksjon og slokker brannen før det oppstår risiko for personskader.

Brannen i S.B.2 utløser ikke sprinkler, men kombinasjon av relativt sakte brannutvikling og kort responstid fra de ansatte på avdelingen etter deteksjon. Det blir vurdert at pasienten kan evakueres før det oppstår kritiske forhold i pasientrommet, og det er lav risiko for personskader. For hendelseskjedene S.A.3, 4 og S.B.3, 4 der eksisterende barrierer hindrer en brannutvikling, er det ingen risiko for personsikkerheten i pasientrommet.

Tabell 20 Resultatene for risiko med hensyn til personsikkerhet

|               |           | Personsikkerhet |   |  |         |      |            |
|---------------|-----------|-----------------|---|--|---------|------|------------|
| Sannsynlighet | Svært høy | 5               |   |  |         |      |            |
|               | Høy       | 4               |   |  |         |      |            |
|               | Høy       | 3               |   |  |         |      |            |
|               | Moderat   | 2               |   |  |         |      |            |
|               | Lav       | 1               | S.A.3 og S.A.4<br>S.B.1 Inergen (C)<br>S.B.3 og S.B.4 | S.A.1 Inergen (C)<br>S.A.1 Sprinkler(D)<br>S.B.2 Sprinkler (D.1) |         |      |            |
| Risiko        |           | Høy             | 1   | 2  | 3       | 4    | 5          |
|               |           | Moderat         | Svært liten   | Liten  | Middels | Stor | Svært stor |
|               |           | Lav             |   |  |         |      |            |
|               |           |                 | Konsekvens  |  |         |      |            |

Resultatene i Tabell 21 viser at det er forskjeller i risikonivået for driftsforstyrrelser ved en brann i pasientrommet. Observasjoner gjort under brannscenario A blir det sett at den relativt hurtige brannutvikling kan medføre brannskader før den blir slokkes.

Fra brannforsøk S.A.1 med Inergen ble det observert at brannen kunne ha medført skader som kan føre til nedetid på 2 døgn. Dette gir en moderat risiko for driftsforstyrrelser.

Fra brannforsøk S.A.1 med sprinkler blir det vurdert at vannskadene etter utløsning kan medføre stor konsekvens, samt medføre behov for tørking og nedvask. Dette kan medføre en nedetid mer enn en uke. Sannsynligheten for at en brann produserer nok varme til å aktivere sprinklerhode antas som lav, risikoen for driftsforstyrrelser blir vurdert til moderat/høy grunnet muligheten for lang nedetid.

Brannscenario B har en relativ sakte brannutvikling der risikonivået for driftsforstyrrelser er vurdert som lavere enn ved en hurtig brannutvikling. Fra forsøket S.B.1 Inergen blir det observert at brannen ble slokket tidlig i brannutviklingen, skadene fra brannen er ubetydelige og risiko for driftsforstyrrelser er lav. Det blir observert at brannen i S.B.2 ikke frigir nok varme til å utløse sprinkler, men en sakte brannutvikling kombinert med kort responstid fra de ansatte gjør at brannen kan håndteres i en tidlig fase.

Skadene fra brannen vil variere etter hvor mye røyk og varme som har blitt produsert, mens driftsforstyrrelser avhenger av hvor stort behovet er for nedvask. Risikoen for driftsforstyrrelser er satt som lav, hvor konsekvensene vil medføre mindre enn 2 døgn nedetid. For S.A 3, 4 og S.B.3, 4 blir brannutviklingen stoppet av eksisterende barrierer på et tidlig stadium og det er lav risiko for driftsforstyrrelser.

Tabell 21 Resultatene for risiko med hensyn til Driftsforstyrrelser

|               |           | Driftsforstyrrelser |   |                      |                   |                     |            |
|---------------|-----------|---------------------|---|----------------------|-------------------|---------------------|------------|
| Sannsynlighet | Svært høy | 5                   |   |                      |                   |                     |            |
|               | Høy       | 4                   |   |                      |                   |                     |            |
|               | Høy       | 3                   |   |                      |                   |                     |            |
|               | Moderat   | 2                   |   |                      |                   |                     |            |
|               | Lav       | 1                   | S.A.3 og S.A.4<br>S.B.1 Inergen (C)<br>S.B.3 og S.B.4 | S.B.2 Sprinkler(D.1) | S.A.1 Inergen (C) | S.A.1 Sprinkler (D) |            |
| Risiko        |           | Høy                 | 1   | 2                    | 3                 | 4                   | 5          |
|               |           | Moderat             | Svært liten   | Liten                | Middels           | Stor                | Svært stor |
|               |           | Lav                 |   |                      |                   |                     |            |
|               |           |                     | Konsekvens  |                      |                   |                     |            |

Resultatene i Tabell 22 viser at risikoen for økonomiske konsekvenser ved brann kan være høyere for Inergen enn sprinkler på pasientrommet. Inergen utløses ved røykdeteksjon og sprinkler aktiveres av temperatur. Sannsynligheten for at en brann i pasientrom frigir nok røyk

til aktivere røykvarsler er vurdert høyere enn at den frigir tilstrekkelig varme til å utløse sprinkler. Inergen flaskene inneholder en begrenset mengde gass som må erstattes etter utløsning som medfører den største kostnaden, og gir en moderat risiko for økonomiske konsekvenser.

Dersom sprinkler utløser kan kostnadene ved vannskader være begrenset, da inventaret i rommet ikke lett ødelegges av vann eller har stor materiell verdi. Risikoen for økonomiske konsekvenser blir vurdert til lav.

Tabell 22 Resultatene for risiko med hensyn til Økonomiske konsekvenser

|               |           | Økonomiske konsekvenser |                       |  |         |      |            |
|---------------|-----------|-------------------------|-----------------------|--|---------|------|------------|
| Sannsynlighet | Svært høy | 5                       |                       |  |         |      |            |
|               | Meget høy | 4                       |                       |  |         |      |            |
|               | Høy       | 3                       |                       |  |         |      |            |
|               | Moderat   | 2                       | S.B.2 Sprinkler (D.1) | S.A.1 Inergen (C)<br>S.B.1 Inergen (C) |         |      |            |
|               | Lav       | 1                       |                       | S.A.1 Sprinkler (D)                    |         |      |            |
| Risiko        |           | Høy                     | 1                     | 2                                      | 3       | 4    | 5          |
|               |           | Moderat                 | Svært liten           | Liten                                  | Middels | Stor | Svært stor |
|               |           | Lav                     |                       |  |         |      |            |
|               |           |                         | Konsekvens            |  |         |      |            |

## 6.6 USIKKERHET I ANALYSEN

Det er mange faktorer som kan bidra til at resultatene fra risikoanalysen blir usikre. Fra boken Risikoanalyse – teori og metoder [29] nevnes seks faktorer som kan bidra til usikkerhet. Faktorene er presentert i de neste delkapitlene.

### 6.6.1 Alle uønskede hendelser blir ikke avdekket

Analysene var begrenset til å se på en brann i et pasientrom. Det ble vurdert om et gasslokkesystem basert på Inergen kunne være et alternativ til sprinkler. En avgrensing for analysen er at systempålitelighet ikke er tatt med. Uønskede hendelser hvor et system ikke fungerer i henhold til spesifikasjonene er derfor ikke vurdert. Dette bidrar til usikkerhet for resultatet.

### 6.6.2 Modell og metode usikkerhet

Til å gjennomføre risikoanalysen er det brukt flere modeller og metoder. Boken Risikoanalyse - teori og metoder beskrives modellusikkerhet slik [29]:

*«En modell er en forenkling av analyseobjektet som vi gjør for å kunne bruke matematiske og andre analytiske metoder til å avlede interessante egenskaper. En modell er aldri helt korrekt og bruken av modeller vil derfor alltid medføre usikkerhet»» [29].*

I risikoanalysen ble det benyttet modeller og metoder for grovanalyse, idedugnad/diskusjon, hendelsetre-analyse og kvalitativ vurdering. Metodene ble brukt på grunn av datagrunnlaget i oppgaven, samt fordi analysegruppen har kjennskap til metoden. Det er mulig at andre metoder ville passet bedre til analyseobjektet, og at de kunne redusert usikkerheten ytterligere.

### 6.6.3 Data usikkerhet

For å gjennomføre risikoanalysen brukes det mange typer inngangsdata. Det er ofte vanskelig å anskaffe data, og tilgjengelig data kan ofte være manglende eller kreve bearbeiding som medfører usikkerhet i resultatene. For denne oppgaven har det vært utfordrende å finne tilgjengelig data som er relevant til analyseobjektet. Data fra statistikk er blitt bearbeidet for å gjøre det mest mulig relevant for analyseobjektet, dette kan medføre usikkerhet. Informasjon om analyseobjektet er hentet gjennom dialog mellom analysegruppen og St. Olavs hospital, noe som kan bidra til at noe av datagrunnlaget er subjektivt.

### 6.6.4 Konsekvensusikkerhet

Alle konsekvensene er vurdert og bestemt ved bruk av kvalitative metoder. Dette medfører at noen av vurderingene er basert på analysegruppens kunnskap og subjektive meninger, noe som kan bidra til usikkerhet. Mye av grunnlaget til vurderingen baserer seg på en begrenset mengde forsøk, noe som bidrar til usikkerhet i konsekvensvurderingen.

### 6.6.5 Usikkerhet på grunn av tids- og kostnadspress.

Risikovurderingen er en del av en tverrfaglig bacheloroppgave for ingeniørlinjen ved HVL. Det er en tidsfrist for når oppgaven må leveres, noe som begrenser hvor detaljert analyseobjektet kan bli analysert.

En stor del av risikoanalysen baserer seg på brannforsøkene. Grunnet forsøkernes kostnadsramme, kan resultatene være påvirket av tilgjengelig måleutstyr.



### 6.6.6 Usikkerhet på grunn av manglende kompetanse

Analysegruppen har anvendt den tilegnede kunnskapen opparbeidet gjennom ingeniørstudie, bacheloroppgaven og tidligere erfaring. Analyseobjektets kompleksitet kombinert med analysegruppens kompetanse kan ha bidratt til usikkerhet.

## 7 DISKUSJON

---

Dette kapittelet omfatter drøfting av forsøksmetodene og tilhørende resultater for brannscenario A og brannscenario B. Resultatene fra risikoanalysen og usikkerheten knyttet til resultatene vil også drøftes.

### 7.1 FORSØKSMETODE OG RESULTATER

I dette delkapitlet diskuteres forsøkene oppsett, hvordan forandring i oppsettet kan påvirke resultatene samt. diskusjon av resultater. Feilkilder fra forsøkene vil bli diskutert.

#### 7.1.1 Oppsett

Det samme testrommet ble brukt under alle forsøkene, dermed vil ikke strukturen og byggematerialene ha en nevneverdig innvirkning på resultatene. Materialene som ble benyttet i testrommet er ikke de samme som vanligvis benyttes i pasientrom, men materialene har en felles hensikt i å gi minimalt bidrag til brannutvikling og spredning. Det vil da være utfordrende å vurdere om brannforløpene ville bli annerledes dersom man benyttet andre materialer i testrommet.

To detektorer ville gitt tidligere deteksjon, og begrenset en utilsiktet utløsning av Inergen i større grad. Ulempen er at det i et pasientrom ønskes minst mulig elektronisk utstyr under systemhimlingen, basert på faren for vandalisering det vil kunne medføre. I tillegg kan det være utfordrende å få plass til detektorene i himling, da det må tas hensyn til installasjoner som ventilasjonskanaler, vannrør, kabler etc. En løsning som ble vurdert av St. Olavs hospital var å bruke en aspirasjonsdetektor, den vil ha en høyere følsomhet for røyk enn den optiske røykvarsleren som ble brukt i forsøkene, og følgelig føre til tidligere deteksjon. På en annen side vil forsøk med tregere røykdeteksjon representere et verre scenario enn det som kan forventes. Ulempen er at senere røykdeteksjon påvirker utløsningstiden til Inergen-anlegget, dermed vil dette kunne stille Inergen i et dårligere lys enn det som er realistisk.

Ventilasjonen ble målt til å ha samme kapasitet under alle forsøkene, men ventilasjonskapasiteten var mindre enn det den ville vært i et virkelig pasientrom. Da det ble benyttet «trekk-ut» strategi ved sprinklerforsøkene kan det vurderes om luftmengden i testrommet var for lav til å kunne benytte en «trekk-ut» strategi, men det er ikke i oppgavens hensikt å dokumentere dette. Det antas uansett at en økt luftmengde vil påvirke tid til røykdeteksjon, ved at luftstrømmen fører røyk fra eller mot detektoren.

CO- og oksygenmåler er beregnet som personlig verneutstyr, men resultatene kan brukes som en indikasjon ved vurdering av forholdene i rommet. Måleverdiene skal representere konsentrasjonen pasienten utsettes for ved en påsatt brann, plasseringen av denne i testrommet har vist seg å være noe uheldig. Dette gjenspeiles spesielt i forsøk 4, hvor sprinkler ikke ble utløst og røyken fylte rommet til det var ca. en meter sikt over gulvet, fordi CO-måleren var plassert i den røykfrie sonen. Målinger i røyklaget kunne gitt en høyere maksverdi enn det som faktisk ble målt i forsøkene. I tillegg ble målerens plassering endret etter forsøk 1, fordi det var ønskelig å kunne avlese verdiene via kamera.

Konsentrasjonen av CO kan variere i rommets volum, faktorer som temperaturforskjeller i ulike deler av rommet, omrøring av luft og at CO veier mindre enn luft kan ha påvirket målerresultatene. Variasjonene skaper usikkerhet i resultatene, da måleren kun representerte et målepunkt.

Gassylindere for Inergen og rør fra vannforsyning og inn til sprinklerhodene ble direkte påvirket av utetemperaturen, da brannhallen hvor testrommet var plassert er uisolert. Temperaturen mellom forsøkene varierte ikke mye, men lå på 6-8 °C. Det at temperaturen alltid var 12-14 °C under romtemperatur medførte at Inergen-gassen kondenserte ved utløsning, dermed ble siktmålerens resultater sterkt påvirket etter utløsning av anlegget. I tillegg gir den lave temperaturen til både Inergen-gass og slokkevann trolig en fordel de normalt ikke ville hatt; brannen kan ha blitt tilført kaldere vann/ gass enn normalt, som ville tilsvart romtemperatur for Inergen. For sprinklerens del, vil det ved utløsning kun være snakk om romtemperert slokkevann i det stillestående vannet i rørene, etterhvert ville vannet hatt temperaturen til det offentlige vannettet.

Det at klærne hang i en krok var den største faktoren til den hurtige brannutviklingen i brannscenario A. Dersom konfigurasjonen av klærne var annerledes ved at de ikke var hengt opp, ville brannutviklingen sannsynligvis blitt tregere og brannforløpet ville sett annerledes ut. Endring i tennkilde ville også gitt noen endringer i brannforløp, men ikke i like stor grad som endring i konfigurasjonen av klær. Det anbefales å fjerne muligheter til å henge opp klær for å hindre vertikal brannspredning i mindre avlukkede områder som i et åpent skap.

Oppsett for brannscenario B kan antas å være verst tenkelig for dette scenariet med tanke på at pasienten klarer å rive opp madrass for å eksponere skumplast, anskaffe en tennkilde med tilstrekkelig brannenenergi, og i tillegg heve madrassen slik at tennkilden brenner opp inn i madrassen. Plasseringen av madrassen er i midten av rommet og nærmere røykvarsler, og vil

følgelig ta lengre tid å detektere brann dersom denne blir plassert lengre fra røykvarsler. Det er også mulig at pasient antenner klær på madrass som kan føre til et hurtigere brannforløp da klærne er lettere antennelig.

### 7.1.2 Resultater scenario A

Resultatene viser i Figur 12 en hurtig brannutvikling i brannscenario A, det var også noe forskjeller i temperaturutviklingen i rommet som kan bety at vekstfasen i brannforløpene er forskjellige. Sammenligningen viser at det er rundt 25-30 sekunders forskjell før det oppstår en «lokal overtenning» inne i skapet. Videoopptak fra forsøkene bekrefter at brannutviklingen er raskere i forsøk 1, noe som skaper tidsforskyvningen som Figur 12 viser. Det ble også observert at klærne hang mer kompakt og tøyet hang nærmere trekrybben i forsøk 1, som antas å være årsaken til at brannspredningen i tøyet skjer raskere.

#### 7.1.2.1 Temperatur og deteksjon

Det var 20 sekunders differanse i deteksjonstid mellom forsøkene, det antas at brannveksten kan være hovedårsaken til forskjellen i deteksjonstid. Inergen-anlegget i forsøk 1 er avhengig av deteksjon for å utløses, derfor er det en viktig faktor for å vurdere om Inergen er et alternativ til sprinkler.

Sprinkleranlegget ble utløst etter at sprinklerhodet var utsatt for temperaturer over 74 °C i 20 sekunder, hvor det ble registrert høyest temperatur på 293 °C. På grunn av termisk treghet i bimetallet på sprinklerhodet, var en viss forsinkelse antatt, som nevnt i delkapittel 2.4.1 er denne forsinkelsen avhengig av sprinklerhodet respons tid indeks (RTI).

At sprinkleranlegget ble utløst i forsøk 5 motstrider hypotesen, hvor det ble antatt at røyklaget ikke ville bli varmt nok til å utløse anlegget. Det er viktig å notere seg at start temperaturen var mellom 6 °C og 8 °C noe som er lavere enn ved vanlig romtemperatur (20 °C). Dette kan da påvirke sprinklerhodets utløsningstid ved at det tar lengre tid å varme opp smeltesikringen.

Ved en varslet brann vil evakuering iverksettes, noe som vil medføre at døren til pasientrommet åpnes. Røyklaget vil i brannscenario A ligge så lavt i rommet at det kan strømme ut døren og spre seg ut i korridoren, konsekvensen kan være at det forsinker reaksjonstiden til sprinklerhodene, i verstefall i den grad at sprinkleranlegget ikke aktiveres. Isåfall vil Inergen ha fordelen ved at den inerte atmosfæren blir tilnærmet uendret, da det i oppgavens begrensing antas at Inergen også utløses i korridoren tilknyttet pasientrommet.

Temperaturmålingene for forsøk 5 i Figur 14 viser også at sprinkler har en umiddelbar virkning på temperaturen i røyklaget, men er avhengig av høy nok temperatur for å kunne utløses. En feilkilde ved disse målingene er at vann fra sprinklerhodet kan lande på termoelementene og kjøle dem ned, slik at resultatene viser en større kjøleeffekt enn det de egentlig vil ha. Masteroppgaven *Cooling of a hot smoke layer by a sprinkler spray* [35] bekrefter denne feilkilden. Det ble utført forsøk med tre ulike metoder for å skjerme termoelementene mot vannsprayen fra sprinkler, der det ble målt at de uskjermede termoelementene hadde en høyere og raskere temperaturreduksjon enn de som var skjermet.

Hypotesen i brannscenario A var at det ikke ville oppstå kritiske temperaturer i pasientrommet, det vil si at det ikke ville oppstå temperaturer over 80 °C i den røykfrie sonen. I forsøk 1 (Inergen) oppstod det kritiske temperaturer ved skap (T.1) fra to meters høyde og opp mot taket, mens ved skrivebord (T.2) var den kritisk fra 2,5 meters høyde og opp. Det ble ikke observert kritiske temperaturer på badet (T.3). Dermed stemmer hypotesen overens med resultatene, men både brannen og termoelement-stang T.1 var plassert i nærheten av utgangsdøren. Det kan være en mulighet for at pasienten blir eksponert for høye temperaturer i en kort periode i forbindelse med rømning, det samme vil gjelde for personal som entrer rommet for å assistere rømning.

De målte temperaturene er generelt så høye at det vil oppleves ubehagelig, men vil trolig ikke ha betydelig fysiologisk effekt på grunn av den korte eksponeringstiden. I forsøk 5 (sprinkler) ble det ikke registrert kritiske temperaturer, bortsett fra i høyde over 300 cm ved skap, resultatene viser da at sprinkleranlegget hindrer at det oppstår kritiske temperaturer i høyder under 300 cm. Hypotesen om at det ikke vil oppstå kritisk temperatur stemmer for dette forsøket også, men forsøkene viser at det vil være ubehagelige forhold i rommet med tanke på temperatur.

#### 7.1.2.2 CO

Hypotesen var i brannscenario A at det ikke ville oppstå kritiske forhold. Resultatene fra forsøk 1 og 5 samsvarer med hypotesen, hvor konsentrasjonene med god margin lå under akseptkriteriet på 2000 ppm.

Da Inergen-anlegget utløste i forsøk 1, lå konsentrasjonen på kun 20 ppm. Dersom en ser i Tabell 1 som viser en oversikt over menneskers respons på ulike konsentrasjoner CO, ligger 20 ppm langt under det som defineres som kritisk konsentrasjon. Eksempelvis kan et menneske utsettes for 100 ppm i flere timer uten at det vil ha en nevneverdig effekt. Da

Inergen-gassen fylte testrommet, viste målingene en klar økning til maksimumkonsentrasjonen på 186 ppm. Etter å ha sett på kameraopptakene fra forsøkene, ser det ut til at spesielt Inergen har en tendens til å sirkulere brannrøyk mot CO-måleren, som igjen fører til en raskere økning av CO enn det ellers ville vært der måleren var plassert dersom anlegget ikke ble utløst. Maksimumskonsentrasjonen på 186 ppm i forsøk 1 vurderes heller ikke som kritisk høy, da et menneske kan utsettes for konsentrasjoner på 400-500 ppm i en time uten merkbar effekt. Utviklingen videre i grafen var at konsentrasjonen ble redusert til 2-5 ppm, som ikke anses som farlige konsentrasjoner.

Forsøk 5 oppnådde en maksimumkonsentrasjon på 265 ppm, som er 42 prosent høyere enn forsøk 1. Dette kan forklares med at selv om sprinklerhodet nærmest brannen ble utløst, var det plassert ugunstig i forhold til skapet brannen startet i. Dette førte videre til at sprinkleren fikk kjølt ned veggene og taket på skapet og kontrollert brannen, men ikke slokket den. En av konsekvensene var at brannen rakk å produsere mer røyk sammenlignet med forsøk 1. For å sammenligne maksimumkonsentrasjonene på 200-265 ppm som ble opprettholdt i flere minutter mot akseptkriteriet, er det ikke snakk om skadelige konsentrasjoner i den tiden en kan forvente at en pasient oppholder seg i rommet.

Som nevnt tidligere, vil røyklaget i scenario A ligge så lavt i rommet at åpning av dør i pasientrommet kan medføre røykspredning til korridoren. Ettersom maksimumskonsentrasjonene ikke ble vurdert til å utgjøre stor fare for personsikkerheten, antas det at åpning av dør med hensyn på CO vil være av liten betydning.

Dersom brannen fortsatte uten slokking, kunne de målte verdiene blitt høyere. Det oppstod en lokal overtenning i skapet der brannen startet, og mye tydet på at brannen kunne fortsatt i en mye lengre periode utover forsøkens varighet. Likevel antas det scenariet lite sannsynlig, på grunn av tidlig røykdeteksjon kombinert med at avdelingen er døgnbemannet med instruert personell som da ville iverksatt manuell slokkeinnsats og assistert rømning kort tid etter varslet brann.

### 7.1.2.3 Sikt

Hypotesen i brannscenario A var at det ikke ville oppstå kritiske forhold med hensyn på sikt. Resultatene avkrefter denne hypotesen. Bilde. 5 og Bilde. 6 fra resultater viser at fri sikt under røyklaget kan være rundt 1,9 m ved utløsning av slokkeanleggene. Fri sikt under røyklaget ble ikke målt, men observert. Dette vil skape feilmarginer ved at referansebildet ikke er helt nøyaktig, og ved at måling av røyklagshøyde generelt er en utfordring. Resultatene vil være

ugyldige etter slokkesystemene blir utløst fordi deres innvirkning på røyklaget fører til enda større utfordringer ved observasjon gjennom kamera.

Fri sikt under røyklaget ble observert som kritisk ved utløsning av begge slokkesystemene. Sikt med tanke på røyktettheten (ved 175 cm) blir ansett som kritisk ved utløsning av slokkesystemene, så evakuering bør iverksettes innen den tid. Ved utløsning av sprinkleranlegget ble røyklaget presset ned mot gulvet, og ved utløsning Inergen ble røyklaget sirkulert rundt i rommet.

Dersom døren åpnes vil det redusere tiden til og muligens hindre at fri sikt under røyklag blir mindre enn 1,9 m i rommet ved at røyklaget ventileres ut døråpningen. Ventilasjonen av røyk ut døråpning kan også bidra med å redusere tettheten i røyken. Hvordan den ventilerte røyken påvirker andre deler av bygget er utenfor oppgavens begrensning.

### 7.1.3 Resultater brannscenario B

Resultatene viser i Figur 18 en sakte brannvekst i brannscenario B, dette skyldes et mer åpent areal rundt brannen, hvor røyklaget ikke påvirket brannen i startfasen, i tillegg var madrassen tungt antennelig. Det ble ikke observert betydelig tidsforskyvning i dette scenariet, som det ble i brannscenario A.

#### 7.1.3.1 Temperatur

Det var 45 sekunders differanse i deteksjonstid mellom forsøkene, hvor forsøk 3 tok lengst tid å detektere. Brannveksten tok noe lengre tid i dette forsøket, og antas å være hovedårsaken til forskjellen i deteksjonstid. Plasseringen av krybben i forsøkene kan også ha medvirket til denne forskjellen, da det ikke ble markert nøyaktig hvor krybben skulle plasseres under madrassen. Dette kan ha medvirket til at brannspredning fra krybben til madrass varierte mellom forsøk 3 og 4. Sammenligning av videoopptak fra forsøkene viser likevel ikke store forskjeller i brannvekst.

Sprinkleranlegget utløste ikke i forsøk 4, og resultatene viste at temperaturen var over 74 °C i en periode på 205 sekunder. Dette kan skyldes at det var en saktere brannvekst i dette scenariet sammenlignet med brannscenario A, noe som kan bidra til at oppvarmingen av smeltesikringen tar lengre tid. Vannet inn til sprinklerhode hadde i likhet med testrommet en temperatur på 6-8 °C ved antennelse, og den lave temperaturen kan dermed ha bidratt til varmetap på sprinklerhode.

Ved en varslet brann vil evakuering iverksettes, noe som vil medføre at døren til pasientrommet åpnes. Grunnet den sakte røykproduksjonen i brannscenario B, vil det basert på videoopptak ikke strømme røyk ut av rommet dersom døren åpnes i løpet av de første 3-4 minuttene av brannforløpet. Dersom døren åpnes før Inergen eller sprinkler utløses, kan det likevel føre til en forsinkelse av utløsning, ved at varme gasser ventileres ut. I hvor stor grad dette kan ha innvirkning på forsinket utløsning er uvisst.

Hypotesen var også i brannscenario B at det ikke ville oppstå kritiske temperaturer i pasientrommet, dette samsvarer med forsøk 3, hvor de høyeste temperaturmålingene var under halvparten av kritisk temperatur. De mest kritiske temperaturene ble målt i forsøk 4, og varigheten av høye temperaturer var også generelt lengst for dette forsøket. Resultatene gir mening, da sprinkleranlegget ikke løste ut i forsøk 4, dermed fikk brannen utvikle seg uten ekstern påvirkning. I motsetning til de øvrige forsøkene, var det her kritisk temperatur i ansiktshøyde (180 cm) og 150 cm høyde, men det inntraff ikke før 6-7 minutter etter antennelse. Ved denne tiden kan det antas at personell har utført manuell sløkkeinnsats, og at pasienten har evakuert selv, eller ved assistanse fra personalet.

#### 7.1.3.2 CO

Hypotesen var i brannscenario B at det ville oppstå kritiske forhold, da det ble forventet en høy røykproduksjon fra madrassen. Resultatene fra forsøk 3 og 4 samsvarer ikke med hypotesen, hvor konsentrasjonene med god margin lå under akseptkriteriet på 2000 ppm.

Trenden var den samme som for forsøk 1 og 5; etter utløst anlegg øker konsentrasjonen til maksverdi, dette forklares på samme måte som brannscenario A. Forskjellen mellom brannscenario A og B er at førstnevnte har for Inergen og sprinkler henholdsvis ni ganger høyere konsentrasjoner og to ganger høyere konsentrasjoner, og at sprinkler ikke utløses. Variasjonen skyldes plasseringen av brannen og forskjellen i materialene som inngikk i brannscenario A og B. Målingen i det første Inergen-forsøket (forsøk 1) ble noe misvisende, da CO-måleren ble fjernet fra testrommet etter 165 sekund, i tillegg var det forskjell på plasseringen av CO-måleren i forsøk 1 vs. forsøk 3, 4 og 5. Selv om det er forskjeller i målt CO-konsentrasjon for forsøkene, er verdiene så lave at de ikke vil utgjøre noe betydning med hensyn på personsikkerheten for den som skal evakuere pasientrommet og eventuelt de som skal inn i rommet for å assistere rømning.

I brannscenario B er brannen fullt utviklet på det tidspunktet Inergen-anlegget utløses i forsøk 3. Sammenlignet med brannscenario A var det betydelig mindre røykdannelse de første



minuttene og taket var fortsatt godt synlig. Ved åpning av dør i forbindelse med rømning, ser det i likhet med brannscenario A ut til at røykspredning til korridor vil være av liten betydning. Madrassen som ble antent var av typen «institusjonsmadrass» og er laget i flammehemmende materiale, noe som kan forklare den sakte røykproduksjonen.

Da maksverdien for CO ble registrert i forsøk 3 var hele testrommet tåkete, dette kan skyldes at Inergen-gassen kondenserte ved utløsning

Da sprinkleranlegget ikke ble utløst i forsøk 4, ga forsøket en god indikasjon på forventet røykproduksjon dersom brannen fikk fortsette uhindret. Videoopptak viste at røyklaget la seg omtrent i en meters høyde over gulvet ca. 6 minutt etter antennelse. Dersom dør til pasientrom hadde blitt åpnet ved dette tidspunktet eller senere, ville røykspredning til korridor vært stor. På tross av de målte CO-verdiene, vurderes det som kritisk å være i pasientrommet, med mindre pasienten oppholder seg på gulvnivå. Dette scenariet må ses i sammenheng med at Inergen eller sprinkler isåfall ikke utløses, og at rømning skjer lenge etter røykdeteksjon, noe som kan tenkes å være svært lite sannsynlig.

#### 7.1.3.3 Sikt

Hypotesen for brannscenario B var at det ville oppstå kritiske forhold i rommet med tanke på sikt. Hypotesen ble bekreftet ved forsøk 4 (sprinkler), men ikke for forsøk 3 (Inergen). Bilde 8 fra resultatene viser at det oppstår kritiske forhold ved 4 min og 25 sekund, som skyldes at sprinkler ikke utløste. Det tok 5 minutter før røyktettheten ble kritisk.

Dersom sprinkleranlegget utløses, kan det antas at røyklaget likevel vil skape kritiske forhold da temperaturen nådde sprinklerens utløsningstemperatur etter 4 min og 50 sekund. Som nevnt tidligere kan resultatene endres dersom døren inn til pasientrommet åpnes og røyklaget ventileres ut gjennom døråpningen.

## 7.2 RISIKOEVALUERING

På bakgrunn av resultatene fra risikoanalysen skal det i dette delkapittelet diskuteres om Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler.

I Tabell 23 vises resultatene fra risikoanalysen med de to alternative slokkesystemene for brannscenario A og B. Som nevnt tidligere i teksten leses S.A.1 Inergen som: Brannscenario A, hendelseskjede 1, Inergen.

Tabell 23 Resultatene fra risikoanalysen, som viser risikobilde til de to alternative slokkesystemene for brannscenario A og B.

| Hendelseskjede        |         | Personikkerhet | Økonomiske | Driftsforstyrrelse |
|-----------------------|---------|----------------|------------|--------------------|
| S.A.1 Inergen (C)     |         | Lav            | Moderat    | Moderat            |
| S.A.1 Sprinkler (D)   |         | Lav            | Lav        | Moderat/høy        |
| S.B.1 Inergen (C)     |         | Lav            | Moderat    | Lav                |
| S.B.2 Sprinkler (D.1) |         | Lav            | Lav        | Lav                |
| Risiko                | Høy     |                |            |                    |
|                       | Moderat |                |            |                    |
|                       | Lav     |                |            |                    |

### 7.2.1 Personikkerhet

Resultatene i Tabell 23 viser at for en brann i pasientrommet, vil risikoen for personikkerhet være lav for begge de slokkesystemene. Brannscenario A har er en hurtig brannvekst hvor det oppstår overtenning, brannen er lokalisert ved inngangsdøren til pasientrommet, noe som kan gjøre evakuering utfordrende på grunn av høy temperatur. Det kan oppstå kritiske forhold for pasienten i rommet dersom brannen ikke blir kontrollert, slokket eller at pasienten ikke klarere å evakuere. Observasjon fra brannforsøk S.A.1 viser at sprinkler har en rask respons og utløses tidlig i brannutviklingen hvor brannen blir kontrollert. Dette gjør det mulig å evakuere, derfor blir risikoen for personikkerhet vurdert som lav. S.A.1 Inergen ble utløst etter deteksjon og fortrenger gradvis oksygen i rommet slik at brannen slukker. Dette gjør det mulig å evakuere pasienten, og derfor blir risikoen for personikkert vurdert som lav. Begge alternativene påvirker brannutviklingen tilstrekkelig i forsøket og gir en adekvat beskyttelse.

I Brannscenario B er det en langsom brannvekst i en madrass hvor det tar lang tid før det frigis nok røykgasser til å medføre kritiske forhold. S.B.1 Inergen etter deteksjon utløses Inergen-anlegget som slukker brannen før det oppstår fare for personskader. Risikoen for personikkerhet blir derfor vurdert som lav.

S.B.2 Sprinkler blir ikke nok varme frigitt til å utløse sprinkler, men grunnet langsom brannvekst blir det vurdert at en pasient vil være evakuert før det kan oppstå kritiske forhold av røykgasser. Derfor blir risikoen for personikkerhet vurdert som lav.

Det er viktig å understreke at avdelingen leverer tjenester innen tvungent psykisk helsevern og er i aller høyeste grad designet for å ivareta personikkerhet. Avdelingen er døgnbemannet, de

ansatte har konstant tilstedeværelse, kort responstid ved branndeteksjon, og personalet har god opplæring og rutiner for å håndtere vanskelige situasjoner.

På bakgrunn av resultatene for personsikkerhet mener analysegruppen at Inergen kan vurderes som et alternativ.

### 7.2.2 Driftsforstyrrelse

En utfordring for arbeidet til avdelingen ved St. Olavs hospital er hendelser som medfører driftsforstyrrelser eller nedetid, og pasientene på avdelingen kan ikke flyttes eller omplasseres uten ekstraordinære tiltak. Fra resultatene sett i Tabell 23 kan man se at det er en forskjell i risikonivå for driftsforstyrrelser for de ulike slokkesystemene.

Fra dialog med hovedbrannvernleder ved St. Olavs hospital ble det uttrykt at en utfordring med utløst sprinkler er at det kan føre til lang nedetid, grunnet tørking og nedvask av vannskader. En av styrkene til et sprinklerslokkesystem er å kontrollere brannen ved å spre vann jevnt utover et dekningsareal til brannvesenet ankommer. I de fleste tilfeller hvor det er spredningsfare for brannen er dette veldig gunstig, men for en realistisk brann i pasientrommet antas det å ikke være fare for brannspredning.

Observasjoner av forsøk for brannscenario A viste en hurtig brannvekst hvor begge slokkesystemene ble utløst. Fra forsøk S.A.1 Inergen ble det observert at den hurtige brannveksten kan gi noen brannskader før Inergen slukkegass blir utløst. Det blir vurdert at skadene kan medføre en nedetid på over to døgn, derfor blir risikoen for driftsforstyrrelser vurdert som moderat. Fra forsøk S.A.1 Sprinkler ble det observert at den hurtige brannveksten kan gi noen brannskader før sprinkler utløses. Det blir vurdert at vannskadene etter utløst sprinkler kan medføre behov for tørking og nedvask som kan medføre en nedetid på over en uke. Risikoen for driftsforstyrrelser blir derfor vurdert som moderat/høy.

Observasjoner fra S.B.1 Inergen viser en sakte brannvekst hvor slokkegass utløses etter deteksjon og skadene av brannen er minimal. Risikoen for driftsforstyrrelser blir vurdert som lav. Observasjoner gjort fra S.B.2 viser en sakte brannvekst hvor det ikke blir frigitt nok varme til å utløse sprinkler. På grunn av den sakte brannveksten, vurderes det at den antatte raske responstiden til ansatte etter deteksjon vil medføre manuell slokking av brannen. Risikoen for driftsforstyrrelser blir derfor vurdert som lav.

### 7.2.3 Økonomiske konsekvenser

Resultatene i Tabell 23 viser at risikoen for økonomiske konsekvenser er moderat for Inergen, men lav for sprinkler om de blir utløst. Noe av grunnen er at pasientrommene er designet for å være sikret mot vandalisme, og vegger og inventar er meget robust. Normalt kan vannskader fra sprinkler medføre relativt store materielle kostnader, men for dette analyseobjektet er pasientrom såpass robust at kostnader fra vannskader blir begrenset. For å resette sløkkesystemet må bare det utløste sprinklerhode erstattes, derfor blir risikoen for økonomiske konsekvenser av sprinkler vurdert som lav.

Inergen bruker gass som sløkkemiddel, hvor i denne oppgaven dekningsområdet er delt opp i større seksjoner som ikke bare dekker et pasientrom. Derfor blir sløkkegass utløst i hele seksjonen ved røykdeteksjon. En slik seksjon ville hatt et dekningsområde på rundt 500m<sup>3</sup> basert på dialog med hovedbrannvernleder på St. Olavs hospital. Alle Inergen-gassylindrene som dekket seksjonen må etterfylles etter utløsning, noe som medfører den største kostnaden. Analysegruppen vurderer sannsynligheten som høyere for at en brann frigir nok røyk til å utløse Inergen, enn at den frigir nok varme til å kunne utløse sprinkler, derfor blir risikoen for økonomiske konsekvenser for Inergen vurdert som moderat.

Noe som kan ha en stor innvirkning på resultatene er at analysegruppen kun tok i betraktning enhetskostnader for reset av de ulike sløkkesystemene og inventar for et pasientrom. Dette ble gjort av praktiske hensyn grunnet utfordringer med å anskaffe nok data og ikke nok kunnskap i analysegruppen til å vurdere andre kostnadsfaktorer, som drifts- og vedlikeholdskostnader.

### 7.2.4 Oppsummering risikoevaluering

Inergen blir vurdert til å være et bedre alternativ enn sprinkler for å redusere risikoen for driftsforstyrrelser og mulig nedetid ved brann på pasientrom. Med hensyn til personsikkerhet vurderes Inergen adekvat på bakgrunn av de gjennomførte brannforsøkene. Inergen vurderes å medføre noe høyere risiko for økonomiske konsekvenser enn sprinkler.

### 7.3 VIDERE ARBEID

Resultatene fra forsøkene og risikovurderingen brukes som grunnlag for en konklusjon i denne oppgaven. Med utgangspunkt i diskusjonskapittelet foreslås følgende endringer eller forbedringer:

- Det foreslås å gjennomføre flere forsøk med samme brannscenarier for å luke bort uforutsette feilkilder.
- Det anbefales å prøve ut scenarier som skaper ulmebrann, det være seg en brann under sengen, brann i skap med delvis lukket dør etc.
- Det anbefales å utføre forsøkene i romtempererte omgivelser, samt hvor relativ fuktighet ligger på et normalt nivå.
- Det hadde vært interessant å bruke et måleapparat for røykgasser som er konstruert for fullskala forsøk, hvor konsentrasjonen av CO kan måles på flere steder.
- Det anbefales å anvende en metode for å måle temperaturer, uten at målingene påvirkes av vandrdråpene fra utløst sprinkler.
- Det hadde vært interessant å simulere brannscenariene for å sammenligne de mot resultater fra praktiske forsøk.
- Det hadde vært interessant å gjennomføre en risikovurdering i samarbeid med de ansatte på den psykiatriske avdelingen ved St. Olavs hospital i større grad.
- Det hadde vært interessant å analysere avdelingen i mer detalj, hvor det ble sett på flere farekilder og andre uønskede hendelser knyttet til brannsikkerheten. Både med tanke på menneskelige og tekniske faktorer.

## 8 KONKLUSJON

---

Oppgavens formål var å vurdere om Inergen kunne være en alternativ løsning til sprinkler. En kvalitativ metode ble brukt til å innhente informasjon som en del av en risikovurdering.

Risikoanalysen identifiserte relevante brannscenarier til oppgaven hvor det ble utført fullskala brannforsøk for å avdekke når det oppstår kritiske forhold. Resultatene og observasjonene fra forsøk ble brukt som datagrunnlag for å vurdere mulige konsekvenser ved en påsatt brann i et pasientrom

Observasjoner gjennom videoopptak fra forsøkene ga inntrykk av at realistiske branner vil ha en begrenset størrelse, hvor det ikke er fare for brannspredning til andre områder i avdelingen. Tidlig deteksjon og inngripen fra ansatte mener vi er den mest utslagsgivende faktoren, hvor man kan påvirke brannutviklingen i startfasen og redusere risikoen til utfallet.

Resultatene fra forsøkene i brannscenario A viser at det verken vil oppstå kritiske forhold med tanke på temperatur eller CO konsentrasjon. Derimot ble det observert at fri sikt under røyklaget og røyktetthet ved hodehøyde kan bli kritisk og kan skape problemer ved evakuering. Ved brannscenario B ble det ikke målt kritiske forhold, med mindre slokkesystemene ikke aktiveres. Inergen vil ha en mindre kjølede effekt på røyklaget enn sprinkler, men Inergen slokker brannen hvor vann fra sprinkler ikke kommer til. Inergen vil også egne seg bedre ved små branner da sprinkler ikke løste ut i brannscenario B.

Det er viktig å påpeke at resultatene og risikovurderingen i denne oppgaven er basert på et begrenset antall praktiske forsøk. Oppgaven bør derfor ikke brukes som dokumentasjonsgrunnlag hvor det ønskes å benytte et Inergen-anlegg.

Inergen vil forårsake mindre nedetid om utløst og er avhengig av røykdeteksjon for å utløse. Tidlig røykdeteksjon er vesentlig for personsikkerheten i et pasientrom, da røykvarsleren er det første som aktiveres. Dette gjør personalet på avdelingen i stand til å handle raskt i brannforløpet. Inergen-anleggets aktiveringsprinsipp foretrekkes fremfor sprinkler, da anlegget kort tid etter røykdeteksjon vil utløse. Det konkluderes derfor med bakgrunn i forsøksresultatene og risikovurderingen at Inergen kan være en alternativ løsning til sprinkler.

## 9 REFERANSER

---

- [1] Kollegiet For Brannfaglig Terminologi, «[www.kbt.no](http://www.kbt.no),» [Internett]. Available: <http://kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=brannforl%F8p>. [Funnet 10 April 2019].
- [2] K. Hofstad, «Store Norske Leksikon,» 22 04 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/ppm>. [Funnet 04 27 2019].
- [3] Norsk standard, Risikostyring retningslinjer, NS-ISO 31000, 2018.
- [4] B. C. Hagen, Grunnleggende Brannteknikk, Haugesund: Bjarne Christian Hagen, 2018.
- [5] D. Drysdale, «Introduction to Fire Dynamics,» i *An Introduction to Fire Dynamics*, Hoboken, United States, John Wiley and sons Ltd, 2011, pp. 331-347.
- [6] J. G. Quintiere og B. Karlsson, Enclosure Fire Dynamics, London: CRC Press, 2000.
- [7] C. Sesseng , N. K. Reitan og S. Fjær, «Mapping of gas concentrations, effect of dead-air space and effect of alternative detection technology in smouldering fires,» SP Fire Research AS, 2016.
- [8] M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, J. Torero, J. M. Watts og C. Wieczorek, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Volume 2 Fifth Edition, New York: Springer, 2016.
- [9] J. P. Stensaas, «Toxicity, visibility and heat stresses of fire effluents - human tenability limits,» Norsk Brannlaboratorium, Trondheim, 1991.
- [10] Helsebiblioteket, «Karbonmonoksid - behandlingsanbefaling ved forgiftning,» 19 02 2018. [Internett]. Available: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/karbonmonoksid-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>. [Funnet 17 04 2019].
- [11] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggforskserien - 520.387 Tilgjengelig rømningstid ved brann,» 05 2016. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/2955/tilgjengelig\\_roemningstid\\_ved\\_brann](https://www.byggforsk.no/dokument/2955/tilgjengelig_roemningstid_ved_brann). [Funnet 27 04 2019].
- [12] J. P. Stensaas og B. A. Mostue, «NY KUNNSKAP OM BRANN OFFSHORE. En innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning – 2. utgave,» SINTEF NBL as, Trondheim, 2005.

- [13] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggforskserien 550.361 - Sprinkleranlegg,» 2009. [Internett]. Available: <https://www.byggforsk.no/dokument/510/sprinkleranlegg>. [Funnet 23 04 2019].
- [14] OFAS, «Opplysningskontoret for automatiske slokkeanlegg - sprinkler,» 06 03 2019. [Internett]. Available: <http://www.slokkeanlegg.no/Slokkeanlegg/Sprinkler>. [Funnet 06 03 2019].
- [15] K. Storesund, K. Hox, A. G. Bøe og R. Wighus, «Direktoratet for byggkvalitet,» 25 10 2013. [Internett]. Available: [https://dibk.no/globalassets/brann-og-konstruksjoner/rapport-nbla13126-slokkevann\\_1.pdf](https://dibk.no/globalassets/brann-og-konstruksjoner/rapport-nbla13126-slokkevann_1.pdf). [Funnet 24 04 2019].
- [16] Direktoratet for byggkvalitet, «Melding HO-3/2000 - Røykventilasjon Temaveiledning,» 12 2000. [Internett]. Available: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/eldre\\_temaveiledere\\_og\\_rundskriv/2000ho-3-roykventilasjon.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/eldre_temaveiledere_og_rundskriv/2000ho-3-roykventilasjon.pdf). [Funnet 17 04 2019].
- [17] J. Haraldset, J. Hauge, T. Øverby og R. Wighus, «Automatisk slokkeanlegg - Veileder for valg og installasjon,» KA Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon og Riksantikvaren, 2012.
- [18] B. A. Mostue, J. P. Stensaas og R. Wighus, «Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg – Boligsprinkler og vanntåke,» SINTEF NBL as, Trondheim, 2003.
- [19] Norsk Standard, Faste brannslukkesystemer Gasslukkesystemer Del 10: Fysiske egenskaper og systemutforming av gass-slukkesystemer for IG-541-slukkemiddel, NS-EN 15004-10:2017, Standard Online AS, 2017.
- [20] ANSUL, «White Paper No. 1005: The Physiology of INERGEN Fire Extinguishing Agent (Rev. 03),» Tyco Fire Products LP, Marinette, Wisconsin, 2016.
- [21] E. J. Skraastad, «Personikkerhet ved opphold i atmosfære med redusert oksygenivå kompensert med økt karbondioksidnivå,» St Olavs Hospital HF, Trondheim, 2017.
- [22] «OFAS - Opplysningskontoret for automatiske slokkeanlegg,» [Internett]. Available: <http://www.slokkeanlegg.no/Slokkeanlegg/Gass/Generelt>. [Funnet 01 02 2019].
- [23] T. E. Hovda, «Docplayer - Brannslukking med INERGEN, ved Fire Eater AS,» [Internett]. Available: <https://docplayer.me/19960-Brannslukking-med-inergen-tor-eystein-hovda-fire-eater-as-a-company-in-the-simtronics-group.html>. [Funnet 25 04 2019].
- [24] Fire Eater A/S, «Fire Eater Control Inert Ci UL Listed, FM approved Extinguishing System,» Fire Eater A/S, Hillerød, 2015.
- [25] Forsikringselskapenes Godkjennelsesnevnd, «Regler for automatiske brannalarmanlegg,» 01 07 2008. [Internett]. Available:



- [https://www.fgsikring.no/contentassets/68bbc7db321f419da719273a97a7cf3b/tidligere-regler/regler-for-automatiske-brannalarmanlegg-1.9.2007-utgave\\_3.pdf](https://www.fgsikring.no/contentassets/68bbc7db321f419da719273a97a7cf3b/tidligere-regler/regler-for-automatiske-brannalarmanlegg-1.9.2007-utgave_3.pdf). [Funnet 24 04 2019].
- [26] J. P. Stensaas, «Røykproduksjonen ved branner offshore - Rev. 1,» SINTEF NBL AS, Trondheim, 2007.
- [27] SINTEF Byggforsk, «550.363 - Brannsikringsløsninger for rom med skadefølsomt innhold,» 04 2009. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/511/brannsikringsloesninger\\_for\\_rom\\_med\\_skadefoelsomt\\_innhold](https://www.byggforsk.no/dokument/511/brannsikringsloesninger_for_rom_med_skadefoelsomt_innhold). [Funnet 11 02 2019].
- [28] Norsk Standard, «Krav til risikovurderinger, NS 5814,» 2008.
- [29] M. Rausand og I. B. Utne, Risikoanalyse - teori og metoder, Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad og Bjørke AS, 2014.
- [30] Norsk Standard, «Risikostyring - Metoder for risikovurdering, NS-ISO/IEC 31010,» 2009.
- [31] A. Johannessen, P. A. Tufte og L. Christoffersen, Introduksjon til samfunnsvitenskaplig metode, Oslo: Abstrakt forlag AS, 2017.
- [32] Statistisk sentralbyrå, «Standard for næringsgruppering,» 2008. [Internett]. Available: [https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/nos\\_d383/nos\\_d383.pdf](https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/nos_d383/nos_d383.pdf). [Funnet 01 5 2019].
- [33] Norsk Standard, «NS-EN 150004-1:2008 Faste brannsløkkesystemer. Gass-slokkesystemer. Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold.,» Standard Online AS, 2008.
- [34] O. Busmundrud, M. Maal, J. H. Kiran og M. Ederegard, «Tilnærminger til risikovurderinger for tilsiktede uønskede handlinger,» Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, 2015.
- [35] N. Tenbült, «Cooling of a hot smoke layer by a sprinkler spray,» Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2018.
- [36] Dräger, «Dräger,» 04 01 2019. [Internett]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/pac-6500-pi-9103919-no-no.pdf>. [Funnet 04 01 2019].
- [37] RK Instruments, 03 Series: OX-03, CO-03, HS-03 Versions Operator's Manual, 2018, p. 77.
- [38] «RS Components Norge,» [Internett]. Available: <https://no.rs-online.com/web/p/laser-detectors/4881409/>. [Funnet 10 04 2019].

- [39] «RS Components Norge,» [Internett]. Available: <https://no.rs-online.com/web/p/laser-modules/0194026/>. [Funnet 10 04 2019].
- [40] «Testo,» 06 04 2019. [Internett]. Available: <https://www.testo.com/en-US/testo-405/p/0560-4053>. [Funnet 06 04 2019].
- [41] «Thermometrics - Precisions Temperature Sensors,» 06 04 2019. [Internett]. Available: <http://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>. [Funnet 04 06 2019].
- [42] Keysight Technologies, Keysight 34970A Data Acquisition/Switch Unit Family 34970A 34972A - Technical Overview, Keysight Technologies, 2018.

## VEDLEGG A - MÅLING AV RELATIV FUKTIGHET, OMGIVELSESTEMPERATUR OG STØY.

Tabell 24 Oversikt over målte verdier for relativ fuktighet i testrommet med tilhørende omgivelsestemperatur.

| Forsøk nr. | Relativ fuktighet (RH) | Omgivelsestemperatur [°C] |
|------------|------------------------|---------------------------|
| 1          | 82,6                   | 8                         |
| 2          | -                      | -                         |
| 3          | 83,1                   | 9,5                       |
| 4          | 85,7                   | 8,6                       |
| 5          | 55,1                   | 6,0                       |

Tabell 25 Målt støynivå [dBA] for Inergen og sprinkler. Målingene for Inergen-forsøkene er utført både utenfor testrommet og inne i testrommet. Målingen for sprinkler er kun utført utforbi testrommet.

| Slokkeanlegg | Støy maks [dBA]                |
|--------------|--------------------------------|
| Inergen      | 78,4 på innsiden av testrommet |
| Sprinkler    | 72 på utsiden av testrommet    |

## VEDLEGG B – INFORMASJON OM INSTRUMENTERING

---

### **Dräger pac6500**

Dette instrumentet er beregnet for å brukes som personlige sikkerhetsutstyr, hvor det gir alarmsignal dersom farlige konsentrasjoner av CO, H<sub>2</sub>S, SO eller O<sub>2</sub> detekteres. CO-sensoren har et måleområde på 1 til 2000 ppm, og H<sub>2</sub>S-sensoren fra 0,4 til 100 ppm. Instrumentet sensor beskyttes av et membranfilter slik at støv og væske ikke kommer til, i tillegg har instrumenthuset kapslingsgrad IP68. Sensoren tåler temperaturer opp mot 55 °C [36]. Instrumentet registrerer måleverdier i et intervall på 60 sekund, i tillegg registres hendelser som inntreffer underveis i loggføringen; tidspunkt for aktivering/deaktivering av alarm 1 (CO A1), alarm 2 (CO A2). I forsøkene var alarm 1 og 2 forhåndsinnstilt på henholdsvis 20 ppm og 100 ppm, men det er mulig å endre verdiene. Resultatene eksporteres i .PDF- og .excel format, med tabeller og tilhørende diagrammer.

### **Extech Instruments RH390**

Instrumentet er en kombinert temperatur- og fuktmåler. Fukten måles som relativ fuktighet (RH) med nøyaktighet  $\pm 2\%$  i intervallet 0 til 100 % RH. Temperatur kan måles med  $\pm 1,8\%$  nøyaktighet i intervallet -22 til 100 °C. I forsøkene ble relativ fuktighet og temperatur målt før antennelse.

### **Riken Keiki OX-3**

Oksygenmåleren kan detektere O<sub>2</sub> fra 0 til 40 %, og gir første alarm (O<sub>2</sub> A1) ved 19,5 % og andre alarm (O<sub>2</sub> A2) ved 18,0 %. Måleren har kapslingsgrad IP67 og tåler temperaturer opp mot 50 °C. Oksygensensoren består av en galvanisk sensor; sensoren er dekket av en cellemembran som slipper gass gjennom, oksygen reagerer i sensoren og produserer en spenning proporsjonal med oksygenkonsentrasjonen. Spenningen blir avlest av sensoren og konvertert til å vise oksygenkonsentrasjonen i prosent på LCD-skjermen til måleapparatet [37].

### **Sensor for røyktetthet**

Sensoren og detektoren [38] [39] fra RS Components måler spenningsforskjell mellom en sender og en mottaker plassert 1 m fra hverandre, ved å sende ut en konstant laserstråle. Før

antennelse defineres røyktettheten til 0 %, noe som tilsvarer 1 til 1,7 VDC. Etterhvert som røykpartikler demper signalet mellom sender og mottaker, avtar signalstyrken målt i VDC.

### **Testo 405-V1**

Lufthastighetsmåleren måler i tillegg volumstrøm og lufttemperatur, og egner seg spesielt til målinger i ventilasjonskanaler og rom. Apparatet kan måle luftstrøm opp til 10 m/s, med en nøyaktighet  $\pm 0,1$  m/s (0-2 m/s målinger) /  $\pm 0,3$  m/s for resterende målinger [40].

### **Termoelement type K**

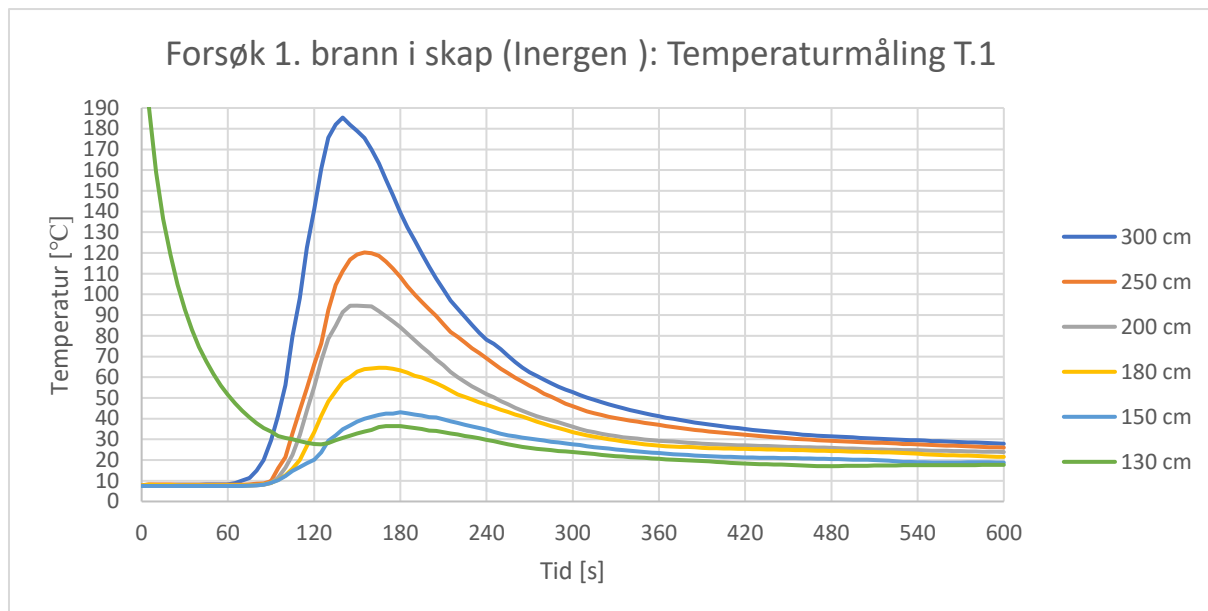
Termoelementene har tykkelse 1,5 mm og en nøyaktighet på  $\pm 2,2$  °C. Temperaturområde er -200 °C til 1260 °C [41].

### **Keysight 34970A**

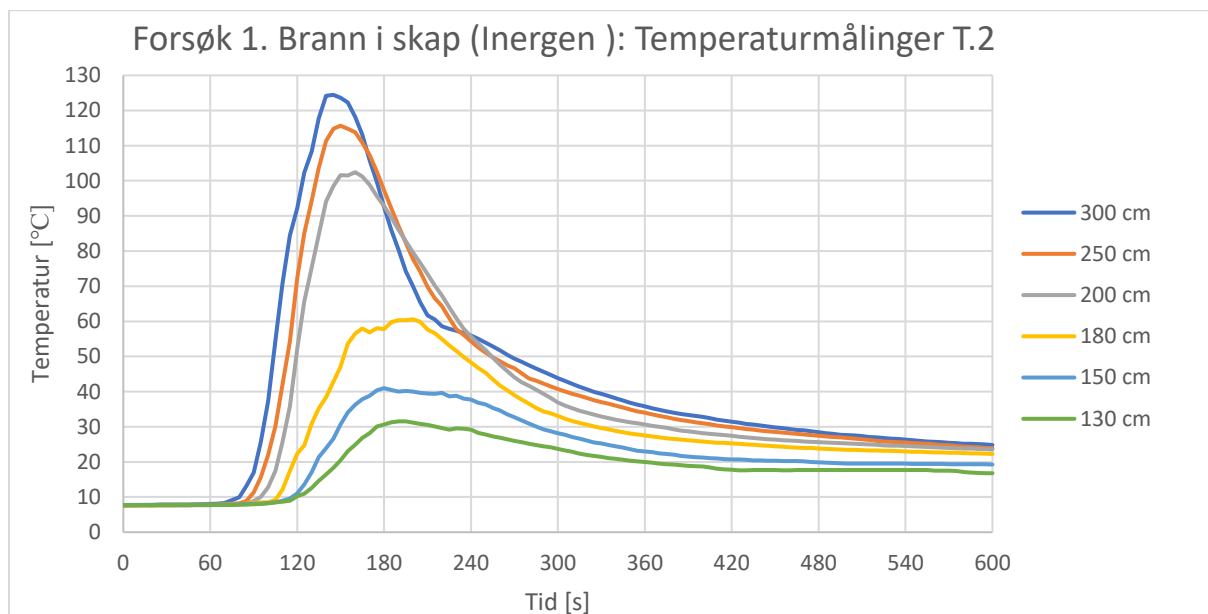
Dataloggeren kan blant annet loggføre temperaturer opp mot 1820 °C og spenningsområde 100 mV til 300 V hvert 5. sekund. I forsøkene har den loggført temperatur fra 26-28 stk. K-element og røyktetthet fra 3 stk. spenningsmålere [42].

## VEDLEGG C – TEMPERATURMÅLINGER FRA FORSØKENE

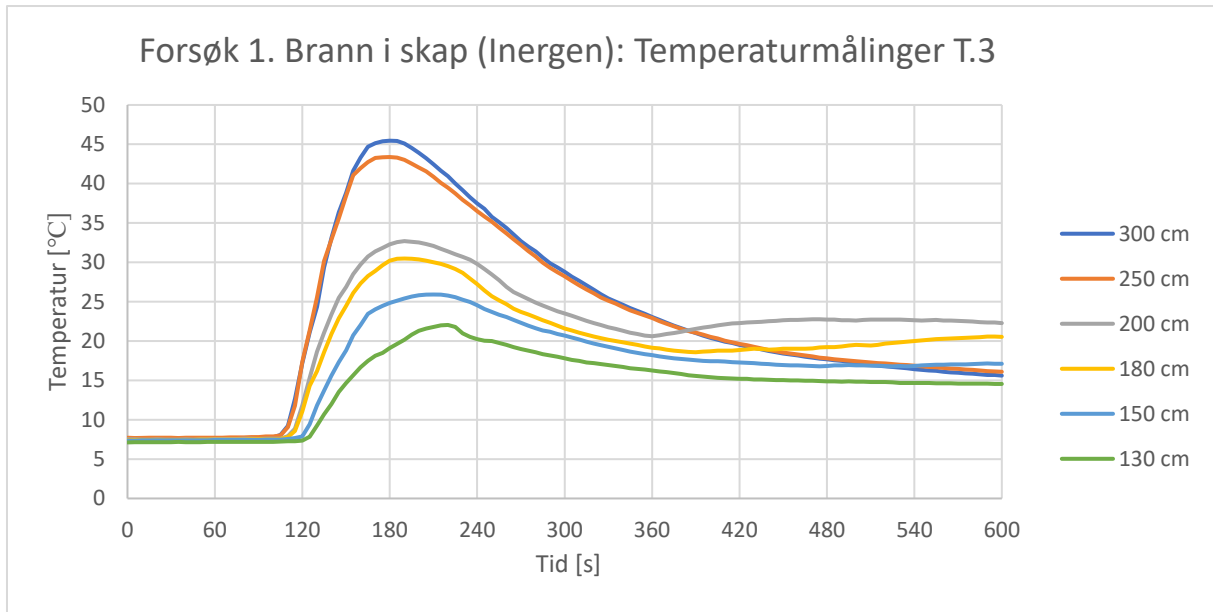
### Forsøk 1: Temperaturmålinger



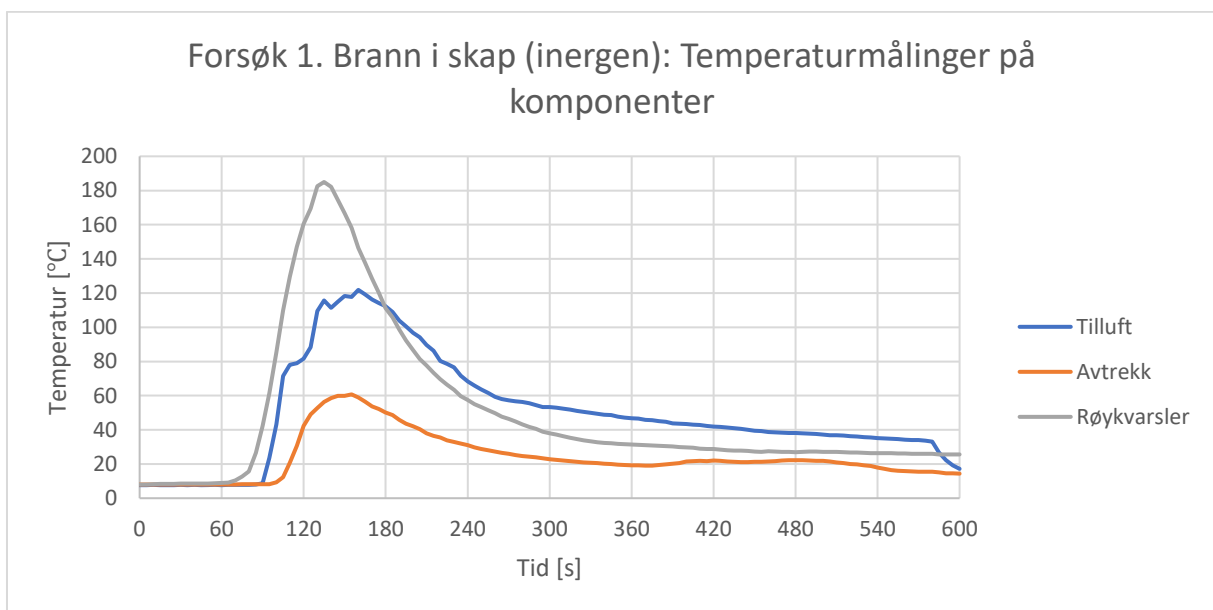
Figur 24 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder.



Figur 25 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder.



Figur 26 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 1 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder.



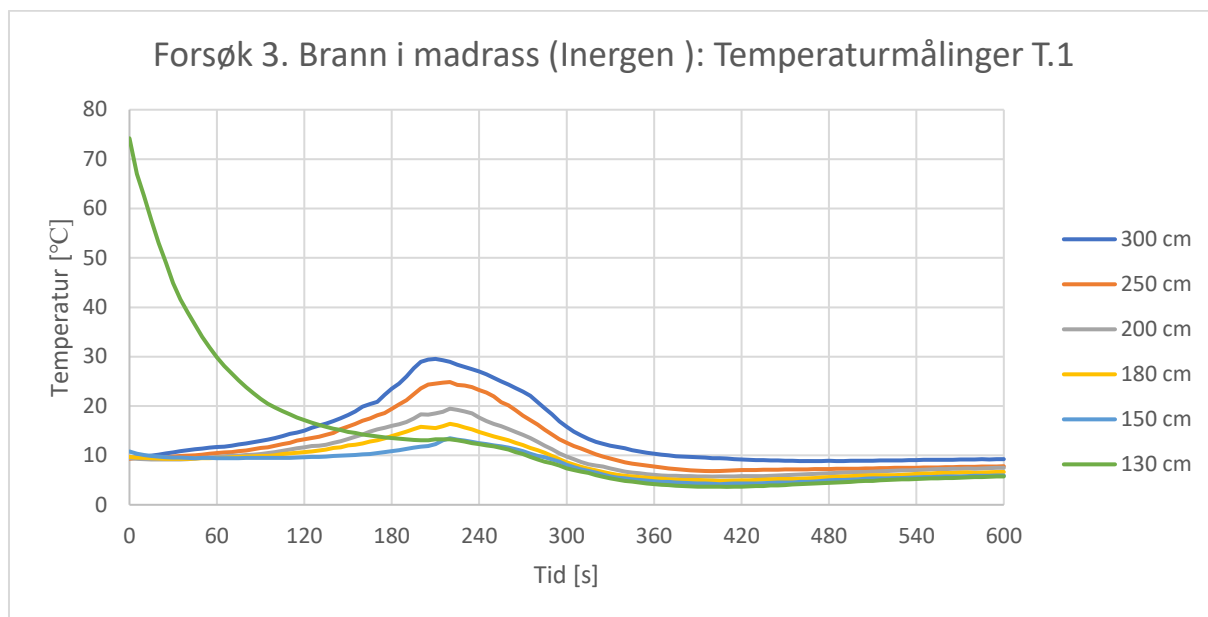
Figur 27 Brannscenario A, forsøk 1: Temperaturmålinger på komponenter.

Tabell 26 Forsøk 1, varighet av temperaturer over 80 °C.

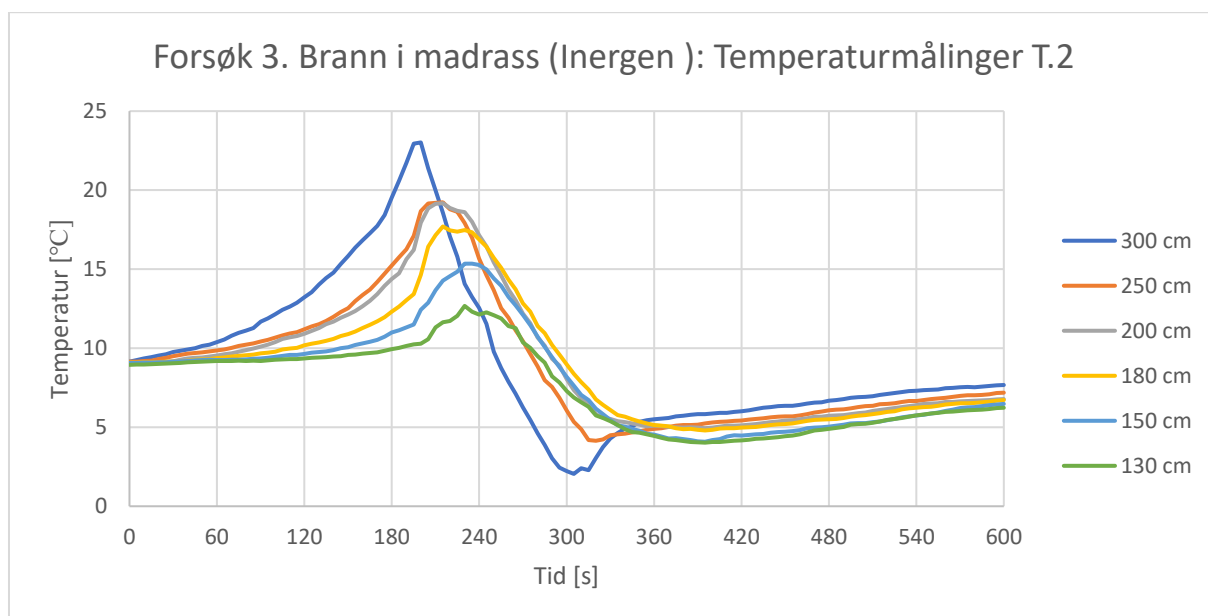
| Høyde over gulv [cm] | T.1 varighet over 80 °C [s] | T.2 varighet over 80 °C [s] | T.3 varighet over 80 °C [s] |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 300                  | 130                         | 80                          | 0                           |
| 250                  | 90                          | 75                          | 0                           |
| 200                  | 55                          | 0                           | 0                           |
| 180                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 150                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 130                  | 0                           | 0                           | 0                           |



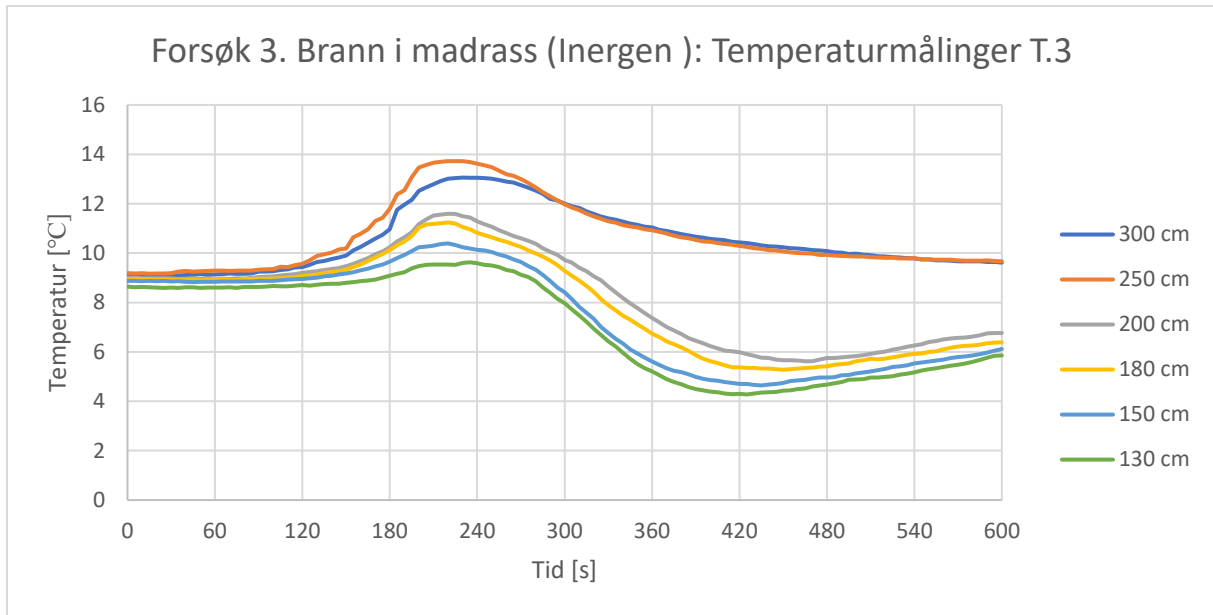
### Forsøk 3: Temperaturmålinger



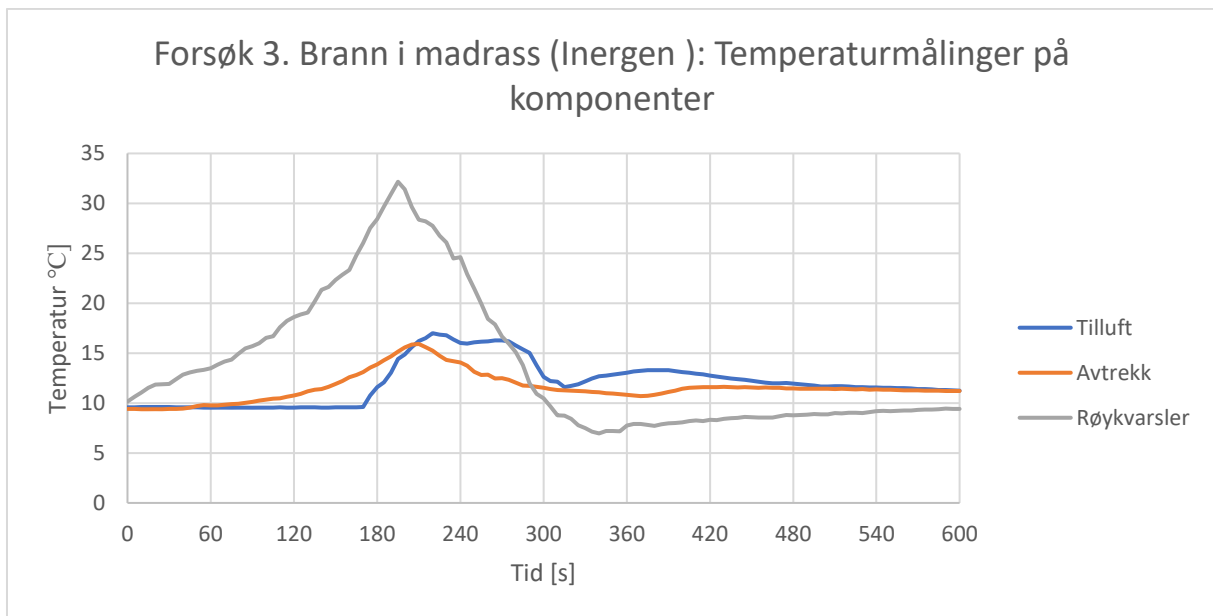
Figur 28 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder.



Figur 29 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder.



Figur 30 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 3 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder.

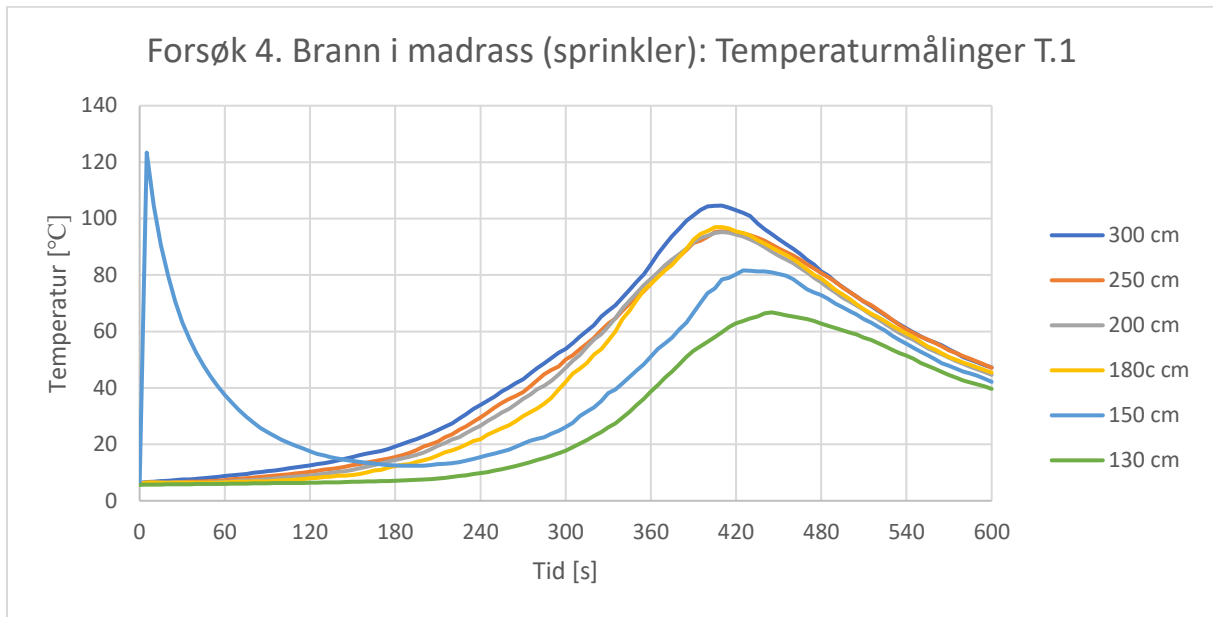


Figur 31 Brannscenario B, forsøk 3: Temperaturmålinger på komponenter.

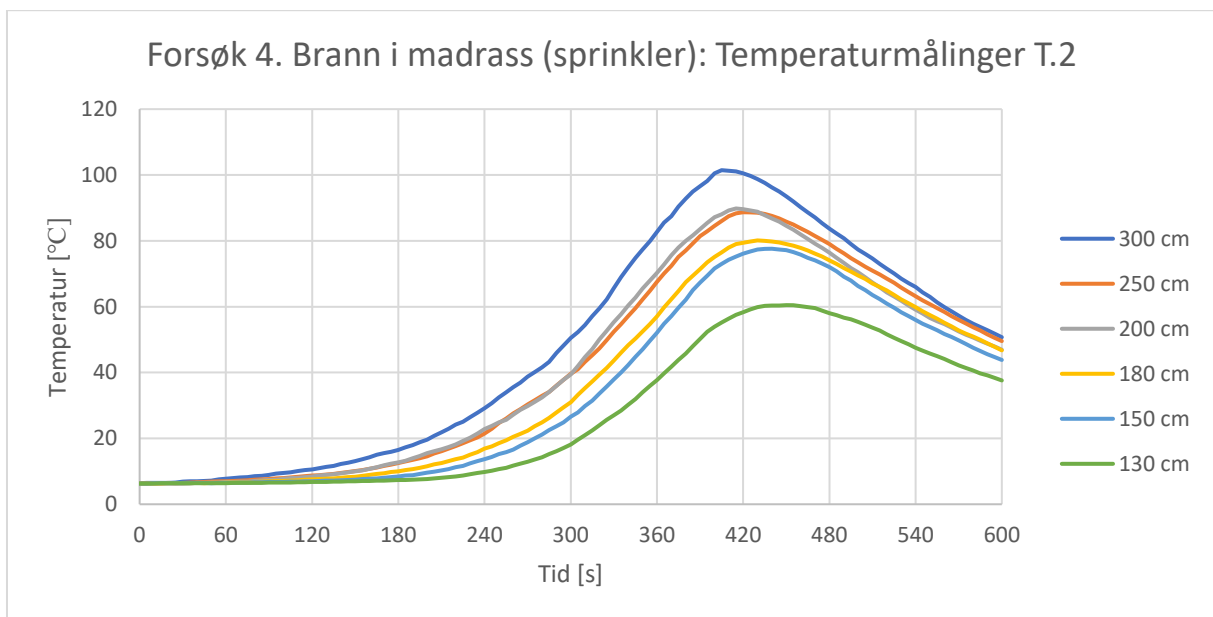
Tabell 27 Forsøk 3, varighet av temperaturer over 80 °C.

| Høyde over gulv [cm] | T.1 varighet over 80 °C [s] | T.2 varighet over 80 °C [s] | T.3 varighet over 80 °C [s] |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 300                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 250                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 200                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 180                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 150                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 130                  | 0                           | 0                           | 0                           |

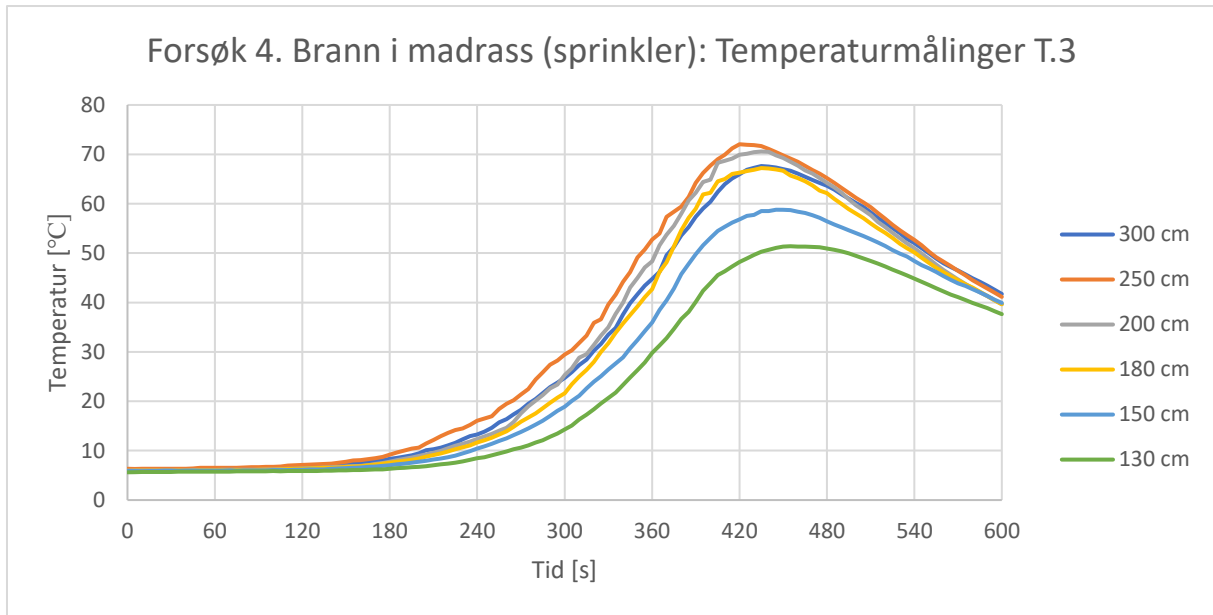
### Forsøk 4: Temperaturmålinger



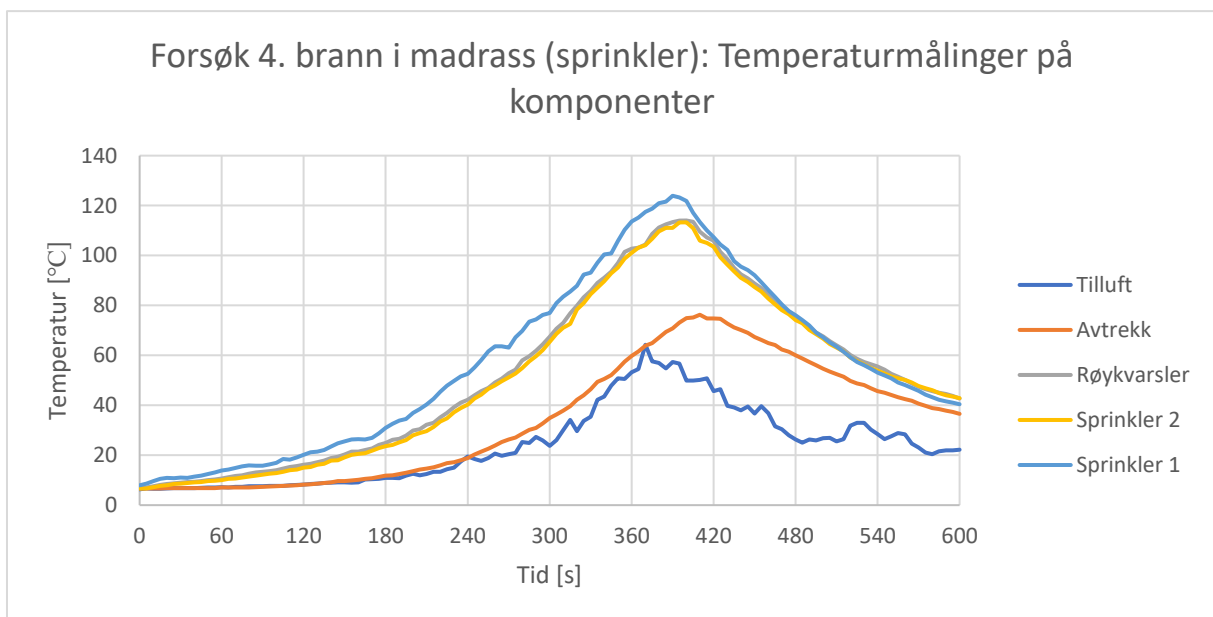
Figur 32 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med Inergen. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder.



Figur 33 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder.



Figur 34 Brannscenario B hvor en madrass ble antent i forsøk 4 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder.

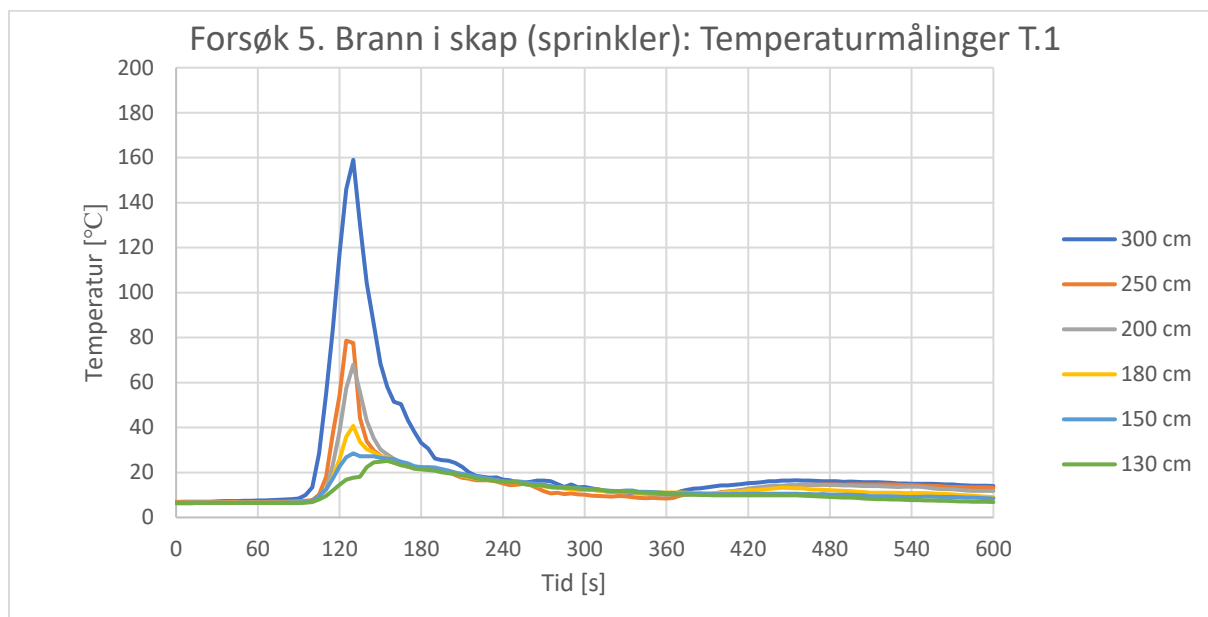


Figur 35 Brannscenario B, forsøk 4: Temperaturmålinger på komponenter.

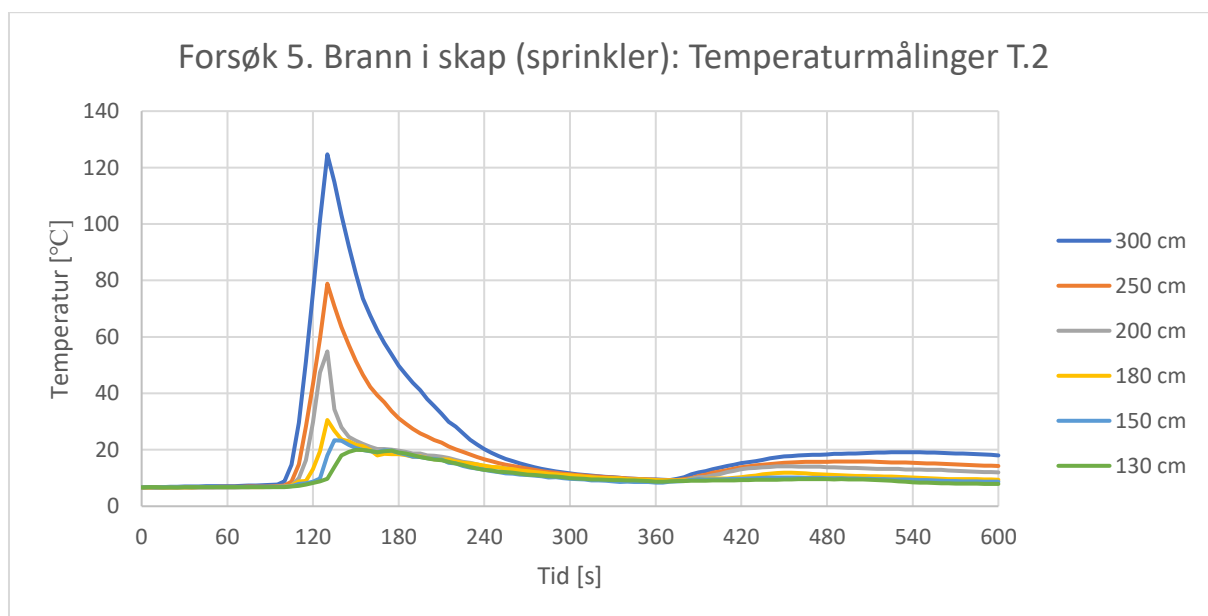
Tabell 28 Forsøk 4, varighet av temperatur over 80 °C.

| Høyde over gulv [cm] | T.1 varighet over 80 °C [s] | T.2 varighet over 80 °C [s] | T.3 varighet over 80 °C [s] |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 300                  | 115                         | 135                         | 0                           |
| 250                  | 110                         | 90                          | 0                           |
| 200                  | 105                         | 90                          | 0                           |
| 180                  | 105                         | 20                          | 0                           |
| 150                  | 35                          | 0                           | 0                           |
| 130                  | 0                           | 0                           | 0                           |

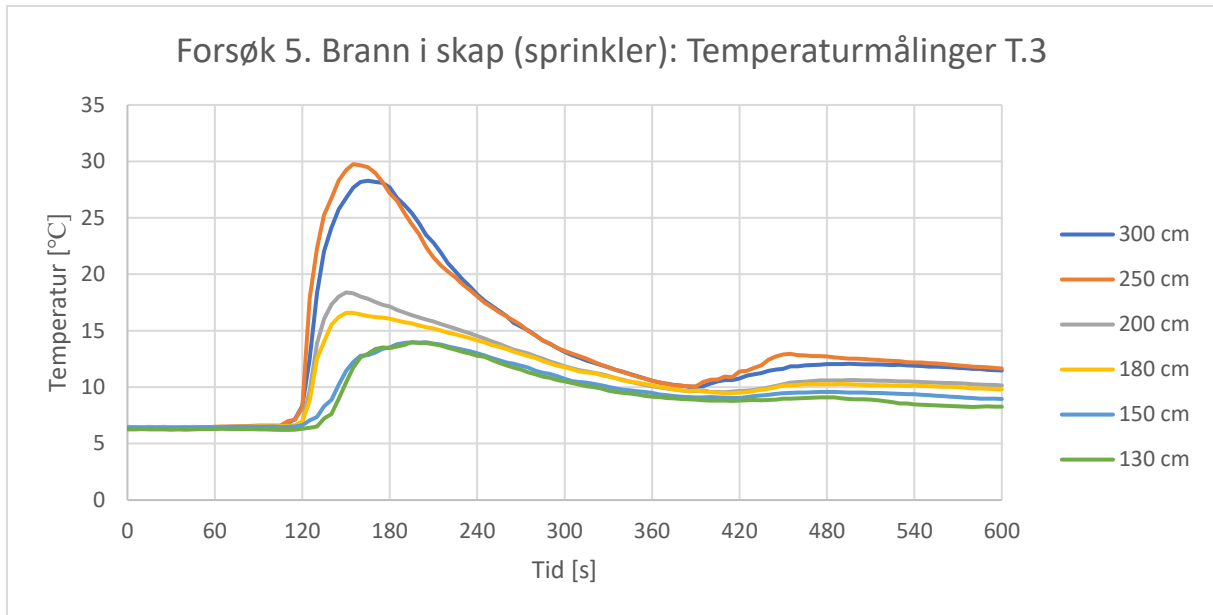
## Forsøk 5: Temperaturmålinger



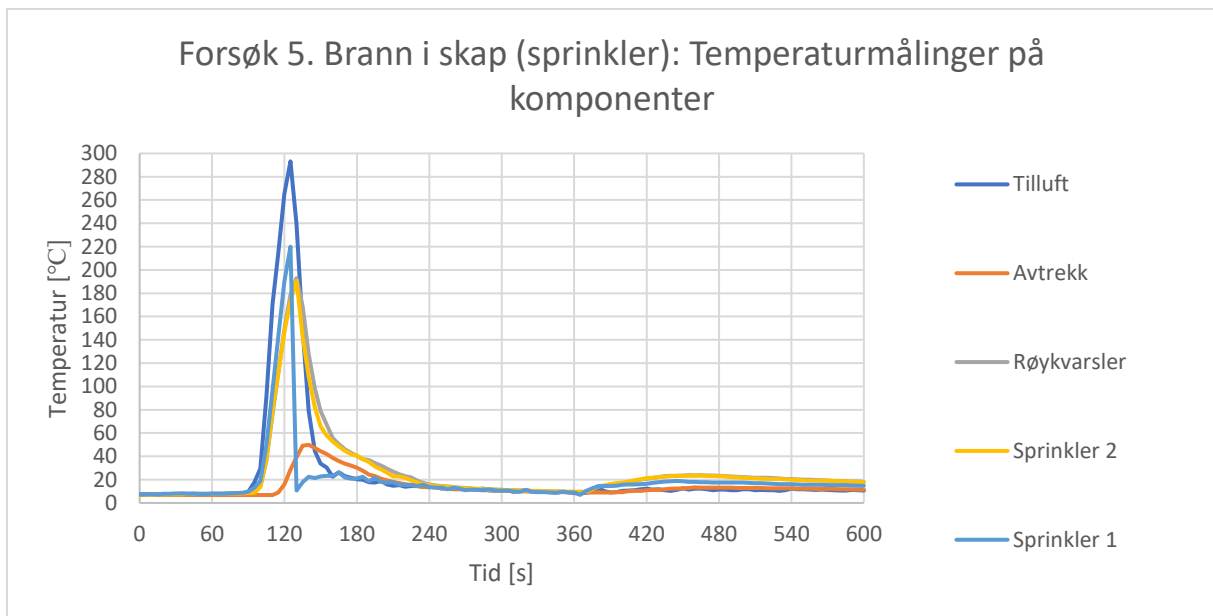
Figur 36 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.1. i seks forskjellige høyder.



Figur 37 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.2. i seks forskjellige høyder.



Figur 38 Brannscenario A hvor klær i skap ble antent i forsøk 5 med sprinkler. Temperaturene ble målt ved termoelement T.3. i seks forskjellige høyder.



Figur 39 Brannscenario A, forsøk 5: Temperaturmålinger på komponenter.



Tabell 29 Forsøk 5, varighet av temperatur over 80 °C.

| Høyde over gulv [cm] | T.1 varighet over 80 °C [s] | T.2 varighet over 80 °C [s] | T.3 varighet over 80 °C [s] |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 300                  | 35                          | 30                          | 0                           |
| 250                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 200                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 180                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 150                  | 0                           | 0                           | 0                           |
| 130                  | 0                           | 0                           | 0                           |

Visuell presentasjon ved utløsning og maks CO-konsentrasjon.

**Scenario A – forsøk 5**

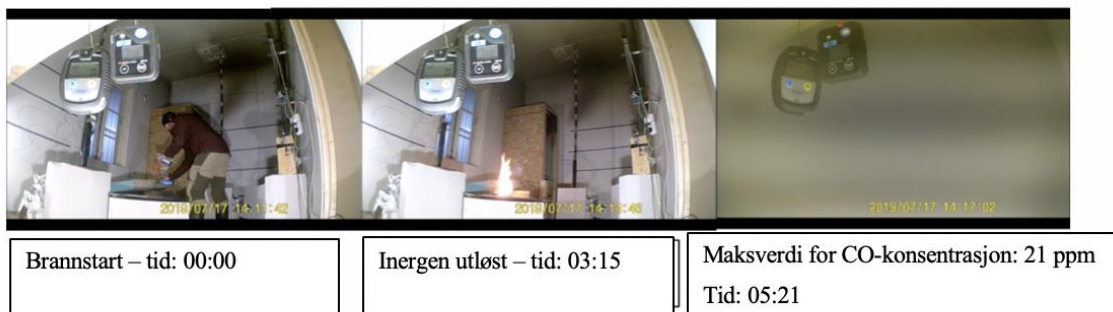


**Scenario A – forsøk 1**

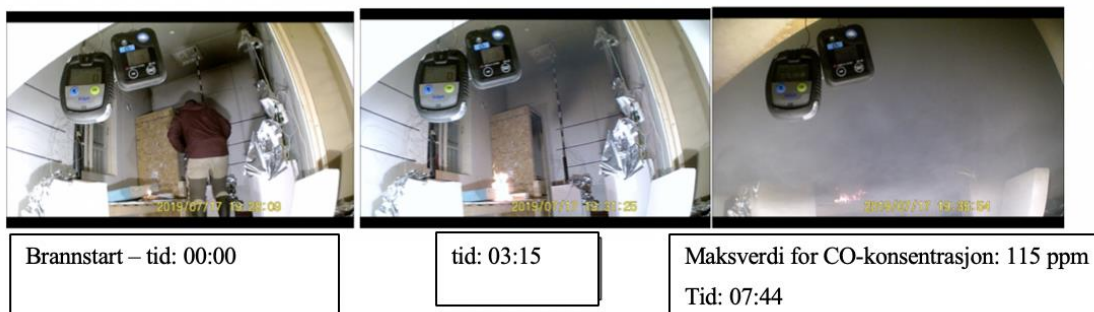


Figur 40 Scenario A: skjermbilder fra forsøk 1 og 5 ved brannstart, utløst anlegg og høyest målte CO-konsentrasjon.

**Scenario B – forsøk 3**



**Scenario B – forsøk 4**



Figur 41 Scenario B: skjermbilder fra forsøk 3 og 4 ved brannstart, utløst anlegg/ikke utløst anlegg og høyest målte CO-konsentrasjon.

## VEDLEGG D – IMT-BEREGNINGER FOR HOLDETID TEST

---

### IMT V.2.2.3

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| <b>User</b>           | Jørn Karlsen              |
| <b>Printed</b>        | 3. mai 2019 kl 09.03 CEST |
| <b>Filename</b>       | HVL-Testrom-43m3.imt      |
| <b>Company</b>        | Høgskulen på Vestlandet   |
| <b>Address</b>        |                           |
| <b>ZIP &amp; City</b> |                           |
| <b>Your ref.</b>      |                           |
| <b>Telephone No.</b>  |                           |
| <b>Our reference</b>  | Jørn Karlsen              |
| <b>Information</b>    | Testrom 43m3              |

## Inergen System Data

|                       |  |           |          |
|-----------------------|--|-----------|----------|
| Fire Hazard           |  | Flame ext |          |
| Tee Design factor     |  |           |          |
| Safety factor applied |  |           | EN 15004 |
| Minimum design conc.  |  | 41.5 %    |          |

|                             |                            |             |           |
|-----------------------------|----------------------------|-------------|-----------|
| Cylinder Type               | Inergen 80L steel cylinder |             |           |
| Cylinder fill               |                            | 15.0 C°     | 300.0 bar |
| Cylinder Storage            |                            | 20.0 C°     | 308.7 bar |
| Temperature (Room)          |                            | 20.0 C°     |           |
| Atmospheric pressure (Room) |                            | 1013.0 mbar |           |
| Pressure relief resistance  |                            | 1.0         |           |

| Room                               | 1      | 2 | 3 | Total |
|------------------------------------|--------|---|---|-------|
| Name                               | Room 1 |   |   |       |
| Volume of room [m <sup>3</sup> ]   | 43.0   |   |   | 43.0  |
| Actual conc. [%]                   | 42.1   |   |   |       |
| Flooding [%]                       | 54.6   |   |   |       |
| INERGEN [kg]                       | 33.14  |   |   | 33.14 |
| Final O <sub>2</sub> [%]           | 12.1   |   |   |       |
| Final CO <sub>2</sub> [%]          | 3.4    |   |   |       |
| Max flowrate [kg/sec]              | 0.92   |   |   | 0.92  |
| Structural strength [Pa]           | 500    |   |   |       |
| Pressure relief [cm <sup>2</sup> ] | 152.0  |   |   | 152.0 |

|                         |     |      |
|-------------------------|-----|------|
| Cylinder quantity       | 1   | pcs. |
| Pipe to Cylinder volume | 0.2 | %    |

|                |  |                |
|----------------|--|----------------|
| Discharge time | 120.0  | Sec. to target |
| Target type    | Inergen conc.  |                |
| Target         | 39.4 %   |                |
| Pipe type      | Schedule 80 Galvanized API 5L Grade A or B steel pipe. |                |

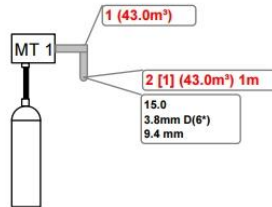
## Pipe system

| No     | N1 | N2 | Elv  | Start | End | Elb | Con | Usr | Noz   | Room | L   | vol  | T     | N/P  | DN | Pres  | Dia | M     |
|--------|----|----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|------|-------|------|----|-------|-----|-------|
| MT_no1 |    |    |      |       |     |     |     |     |       |      |     |      |       |      | 15 | 273.8 | 4.5 |       |
| Pipe   |    |    |      |       |     |     |     |     |       |      |     |      |       |      |    | 58.9  |     |       |
| 1      | 1  | 2  | -1.0 | pP    | pP  |     |     |     | IN-15 | 1    | 1.0 | 43.0 | 100.0 | 50.3 | 15 | 54.7  | 9.4 | 0.252 |

Volume of pipe system 1.0E-4 m<sup>3</sup>  
Min. Pipe working pressure. 60.0 bar

## Description

MT: Manifold  
 Pipe: Pipe system inlet  
 N1, N2 : Nodes start & end  
 Elv: Elevation m  
 Start: Which kind of fitting is the pipe START connected to  
 End: Which kind of fitting is the pipe END connected to  
 pP: Plain pipe  
 pB: Branch Tee  
 pR: Run Tee  
 Elb: Fitting Elbow Qty  
 Con: Fitting Connector Qty  
 Usr: Fitting user defined Qty  
 Noz: Nozzle type (IN-15, IN-20, ...)  
 Room: Room number 1-3  
 L: Length of pipe in meters m  
 Vol: Volume of room protected by this pipe. m<sup>3</sup>  
 T: Tee split rato (pipe inlet/upstream pipe mass flow ratio) %  
 N/P: Nozzle to pipe Area ratio %  
 Dn: Nominiel pipe size  
 Pres: Max pressure in pipe section at outlet bar  
 Dia: Diameter of orifice (Nozzle / Manifold) mm  
 M: Mach number of gas in pipe



|          |       |                 |   |                                |
|----------|-------|-----------------|---|--------------------------------|
| 1        | 04.19 | FOR INFORMATION |   | JK                             |
| Rev.     | Date  | Description     |   | Sign.                          |
| Project: | HVL   | Location:       | TESTROM   | System:                        |
| Address: |       |                 |   | INERGEN                        |
| Constr.  | Date  | Sign.           |  Fire Eater Norge AS<br>Tangen 16<br>4072 Randaberg | Comments:                      |
| Approved |       |                 |   | Drawing no.:                   |
| As built |       |                 |   | Filename: HVL-Testrom-43m3.imt |
| Scale    |       |                 |   |                                |

## VEDLEGG E - SJEKKLISTER

### Sjekkliste i forkant av brannscenario A / brannscenario B ved

#### forsøk 1 /3 /4 /5

*(forsøk 2 er kun en holdetid test for Inergen)*

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Måle og notere vekten av materialet som antennes i brannscenario A / brannscenario B.                                |                               |
| Plasser termoelementer (4 stk.) i nærheten av brannen.   |                               |
| Ta bilde av oppsett for brannscenario A / brannscenario B.   |                               |
| Sjekke at kameraene (5 stk.) fungerer og at ingenting blokkerer kameravinkel, og at de er skjermet for vann og røyk. |                               |
| Sjekke at termoelement-stenger er stødige og plassert riktig.  |                               |
| Sjekke at oksygenmålere og CO-målere er plassert riktig og måler riktig. Sjekk at de er skrudd på.                   |                               |
| Sjekke at alle termoelement fungerer og er riktig plassert.  |                               |
| Måle romtemperaturen i testrommet.   |                               |
| Sjekk at lyskastere fungerer og står stødig.   |                               |
| Sjekk at vinduet i testrommet er lukket.   |                               |
| Sjekk at det ligger en tildekningsplate over slukristen i testrommet (gjelder kun Inergen-forsøk).                   |                               |
| Sjekk at det ligger en gipsplate tilgjengelig på taket for å erstatte røykvarsler.                                   |                               |
| Sjekk at ventilasjonen fungerer og er på.  | Luft inn.....<br>Luft ut..... |
| Sjekk at Inergen-anlegget er montert riktig og fungerer.   |                               |
| Dele ut papir til notering av observasjoner.   |                               |
| Plassere personer på tak til fjerning av røykvarsler.  |                               |
| Sjekke at lydmåler fungerer og er plassert riktig. Sjekk at trykkmåler fungerer og er plassert riktig.               |                               |
| Sjekk at alle kabler er dekket til.  |                               |

## Sjekkliste ved utførelse av forsøk

|  |  |
|--|--|
| Start dataloggeren   |  |
| Start CO-måleren   |  |
| Start kameraene  |  |
| Vis whiteboard med melding om forsøksnr. til alle kameraene.   |  |
| Forsøket starter ved antenelse, som signaliseres med lydhorn, i tillegg oppvarmes et termoelement kortvarig etter antenelse. |  |
| Alle starter stoppeklokken når man hører lydhornet.  |  |
| Fjerne røykvarsler dersom aktivert, og tette hullet med gipsplate.   |  |
| TID TIL RØYKVARSLER AKTIVERT:  |  |
| Stans tilluft 5 sekunder etter at røykvarsler er aktivert.   |  |
| Inergenforsøk: utløs anlegg 30 sekunder etter aktivert røykvarsler.  |  |
| Stans avtrekk 90 sekunder etter Inergen er utløst.   |  |
| TID BRANN SLOKKET:   |  |
| Min O <sub>2</sub> -nivå   |  |



## VEDLEGG F – INNLEDENDE ANALYSE

### Grovanalyse

Analyseobjekt: Pasientrom

| Systemelement                   | Farekilde/<br>trussel                 | Nr. | Uønsket hendelse<br>(hva, hvor, når)          | Årsak<br>(utløsende<br>hendelse)                       | Konsekvens<br>(skade på hva?)                          | Risiko |       |                  | Risikoreducerende<br>tiltak             |
|---------------------------------|---------------------------------------|-----|---|--|--|--------|-------|------------------|---|
|                                 |                                       |     |   |  |  | Frek.  | Kons. | RPN <sup>3</sup> |   |
| Inventar,<br>Pasientrom         | Brannenergi,<br>madrass,<br>sengetøy, | 1   | Brann,<br>pasientrom, om<br>pasient er aleine | Pasient har tenn<br>kilde og ønsker<br>å antenne brann | Skade på rom<br>inventar og rom.<br>Skadelig røyk      | 1      | 3     | 4                | Brann resistent<br>trekk                |
| Tekstiler,<br>Pasientrom        | Brannenergi,<br>Tøy,<br>tekstiler     | 2   | Brann,<br>pasientrom, om<br>pasient er aleine | Pasient har tenn<br>kilde og ønsker<br>å antenne brann | Skade på rom<br>inventar og rom.<br>Skadelig røyk      | 1      | 3     | 4                | Begrenset mengde                        |
| Søppelbøtte,<br>pasientrom      | Brannenergi,<br>søppel                | 3   | Brann,<br>pasientrom, om<br>pasient er aleine | Pasient har tenn<br>kilde og ønsker<br>å antenne brann | Røyk, små skader på<br>inventar                        | 1      | 2     | 3                | Veldig begrenset<br>mengde              |
| Inventar,<br>pasientrom         | Brannenergi,<br>møbler, stol,<br>bord | 4   | Brann,<br>pasientrom, om<br>pasient er aleine | Pasient har tenn<br>kilde og ønsker<br>å antenne brann | Pasient har tenn kilde<br>og ønsker å antenne<br>brann | 1      | 1     | 2                | Ikke brennbart<br>materiell             |
| Pasientrom,<br>vegger eller tak | Brannenergi                           | 5   | Brann,<br>pasientrom, om<br>pasient er aleine | Pasient har tenn<br>kilde og ønsker<br>å antenne brann | Små skader   | 1      | 1     | 2                | Murvegger,<br>brannresistent<br>himling |

<sup>3</sup> RPN står for risiko prioriterings nummer og er en samlet verdi vurdert sannsynlighet og konsekvens og brukes til å gi en innledende rangering av mulige uønskede hendelser.

## VEDLEGG G – IDENTIFISERING AV BARRIERER

### Kartlegging av installerte barrierer i systemet og hvilken effekt de kan medføre.

| Aktiveringsrekkefølge | Barrierer                            | Hendelse  | Aktiveres når/av  | Beskrivelse barriere effekt                               | Hvor barriere påvirker utvikling fra hendelsetre |
|-----------------------|--------------------------------------|---|---|---|--|
| 1                     | Organisatoriske system.              | Pasient prøver å antenne brann                      | Rutinemessig tilsyn. preventive systemer                | Kan oppdages forsøk på å skape brann før en brann oppstår | A.1 B.1  |
| 2                     | Brann resistent møbler og tekstiler, | Brann oppstår                                       | Passiv  | Hindre eller redusere brannvekst                          | A – B.1  |
| 3                     | Brann resistent madrass og sengetøy  | Brann oppstår                                       | Passiv  | Hindre eller redusere brannvekst                          | A – B.1  |
| 4                     | Brann alarm                          | Brann tilstand har utviklet seg og frigitt nok røyk | Røyk detekteres   | Deteksjon av brann, utløser alarm                         | B  |
| 5                     | Ansatte                              | Ansatte får brannalarm gjennom overfallsalarm       | Brann alarm utløses                                     | Aktuelt rom sjekkes umiddelbart                           | B  |
| 6                     | Manuell slukking                     | Brann oppstår med lite energi                       | Deteksjon, personell                                    | Redusere skader   | B  |
| 7                     | Slokkesystem Inergen                 | Slokkesystem aktiveres                              | 30 sekunder etter røykalarm eller manuell utløsning     | Slokker brann ved bruk av inergen gass.                   | C  |
| 7                     | Slokkesystem Sprinkler               | Slokkesystem aktiveres                              | Brann har nok varmeenergi for at sprinkler hode utløses | Kontrollerer brann ved bruk av vann.                      | D  |

## VEDLEGG H - KVALITATIV VURDERING AV KONSEKVENNS

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for <b>personikkerhet</b> i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario A Brann i skap   |                   |
|--|-------------------|
| Hendelseskjede   | S.A.1 Inergen (C) |
| Kommentar til konsekvens   |                   |
| <p>Resultater fra forsøk 1 viste at det ikke oppstod kritiske forhold i personhøyde med hensyn på temperatur. Den høyest målte temperaturen fra gulv og opp til to meter var 55 °C i det inergen utløste, selv om denne temperaturen ikke er kritisk, kan den oppleves ubehagelig. Konsentrasjonen av karbonmonoksid fra røyken vurderes heller ikke som kritisk. Røyklagshøyden ble estimert til å være mellom 1,9 og 2,0 meter i det Inergen utløste, som ligger på grensen til kritiske forhold. På grunn av den raske brannutviklingen og «lokal overtenning» i skap, som medførte kontinuerlige flammer ut av skapet, vurderes rømning noe utfordrende. Brannen var i nærheten av utgangen til pasientrommet, ved rømning må pasient/ personal forbi brannen, men dette vil være av begrenset karakter fordi brannen Inergen kveler brannen, ved åpning av døren, kan det forventes noe røykspredning. Høyeste registrerte støynivå var 78,4 dBA når Inergen slokkesystemet ble utløst.</p> |                   |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                   |
| <p>Konsekvensen vurderes til å omfatte mindre personskader, da rømning antas å skje raskt. Følgelig vil muligheten for å innånde røykgasser være minimale, men dersom pasienten har til hensikt å skade seg selv kan dette omfatte brannskader. Støyen produsert ved utslipp av gassen er ikke skadelig og det er kort eksponeringstiden <sup>4</sup>.</p>   |                   |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens        |
| Mindre personskader  | 2<br>Liten        |

<sup>4</sup> Arbeidstilsynet anser skadelig støy fra omgivelser < 80 dBA ikke skadelig (<https://www.arbeidstilsynet.no/tema/stoy/>)

**Kvalitativ vurdering av konsekvens for personsikkerhet i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario A Brann i skap**

Hendelseskjede | S.A.1 Sprinkler (D)

**Kommentar til konsekvens**

Resultater fra forsøk 5 viste at det ikke oppstod kritiske forhold i personhøyde med hensyn på temperatur. Den høyest målte temperaturen fra gulv og opp til to meter var 57 °C i det sprinkler utløste, selv om denne temperaturen ikke er kritisk, kan den oppleves ubehagelig.

Konsentrasjonen av karbonmonoksid fra røyken vurderes heller ikke som kritisk.

Røyklagshøyden ble estimert til å være mellom 1,9 og 2,0 meter i det sprinkler utløste, som ligger på grensen til kritiske forhold.

På grunn av den raske brannutviklingen og «lokal overtenning» i skap, som medførte kontinuerlige flammer ut av skapet, vurderes rømning noe utfordrende. Brannen var i nærheten av utgangen til pasientrommet, ved rømning må pasient/ personal forbi brannen. Ved åpning av døren, kan det forventes noe røykspredning, men dette vil være av begrenset karakter fordi brannen kontrolleres av sprinkler.

Høyeste registrerte støynivå var 72 dBA når Inergen sløkkesystemet ble utløst.

**Samlet begrunnelse for konsekvens**

Konsekvensen vurderes til å omfatte mindre personskader, da rømning antas å skje raskt. Følgelig vil muligheten for å innånde røykgasser være minimale, men dersom pasienten har til hensikt å skade seg selv kan dette omfatte brannskader. Støyen produsert når sprinkler blir utløst er ikke skadelig og det er kort eksponeringstiden<sup>5</sup>.

**Beskrivelse av Konsekvens**
**Konsekvens**

Mindre personskader

2

Liten

<sup>5</sup> Arbeidstilsynet anser skadelig støy fra omgivelser < 80 dBA ikke skadelig (<https://www.arbeidstilsynet.no/tema/stoy/>)

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for <b>personsikkerhet</b> i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario B Brann i skap   |                   |
|---|-------------------|
| Hendelseskjede  | S.B.1 Inergen (C) |
| Kommentar til konsekvens  |                   |
| <p>Resultater fra forsøk 3 viste at det ikke oppstod kritiske forhold i personhøyde med hensyn på temperatur. Den høyest målte temperaturen fra gulv og opp til to meter var 21 °C i det Inergen utløste, selv om denne temperaturen ikke er kritisk.</p> <p>Konsentrasjonen av karbonmonoksid fra røyken vurderes heller ikke som kritisk.</p> <p>Røyklagshøyden ble ikke kritisk.</p> <p>Brannen ble sløkket på et veldig tidlig tidspunkt og det vil derfor ikke medføre utfordringer for rømning.</p> |                   |
| Samlet begrunnelse for konsekvens   |                   |
| <p>Konsekvensen vurderes til å omfatte ingen personskader, da rømning antas å skje raskt. Følgelig vil muligheten for å innånde røykgasser være minimale, bare dersom pasienten har til hensikt å skade seg selv kan dette omfatte brannskader.</p>   |                   |
| Beskrivelse av Konsekvens   | Konsekvens        |
| Ingen personskader  | 1<br>Svært liten  |

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for <b>personikkerhet</b> i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario B Brann i skap   |                       |
|--|-----------------------|
| Hendelseskjede   | S.B.2 Sprinkler (D.1) |
| Kommentar til konsekvens   |                       |
| <p>Resultater fra forsøk 4 ble det ikke sprinkler utløst, Den høyest målte temperaturen fra gulv og opp til to meter var 80 °C etter 6 min, temperaturen er da er kritisk, men den er ikke dødelig.</p> <p>Konsentrasjonen av røykgasser vurderes til å være kritisk etter 6 min.</p> <p>Røyklagshøyden ble estimert til å være mellom 1,9 og 2,0 meter etter 4m25s, som ligger på grensen til kritiske forhold.</p> <p>På grunn av den langsomme brannutviklingen og vurderes det at vil være små utfordringer for rømning.</p> |                       |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                       |
| <p>Konsekvensen vurderes til å omfatte ingen personskader, da rømning antas å skje raskt. Følgelig vil muligheten for å innånde røykgasser være minimale, bare dersom man ikke klarer å slokke brannen manuelt og ikke klarer å få pasienten ut av rommet, kan det bli kritisk for personikkerhet. bare dersom pasienten har til hensikt å skade seg selv kan dette omfatte brannskader.</p>   |                       |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens            |
| Mindre personskader  | 2<br>Liten            |

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for <b>personikkerhet</b> i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario- A brann i skap og B Brann i madrass |                              |
|--|------------------------------|
| Hendelseskjede   | S.A.3, S.A.4, S.B.3 og S.B.4 |
| Kommentar til konsekvens   |                              |
| Brann oppstår, men barrierer hindrer utvikling. Brannen har for lav energi til å medføre utfordring for ansatte ved evakuering av pasient.   |                              |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                              |
| Brannen blir stoppet før det kan utføre en fare for person sikkerhet   |                              |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens                   |
| Ingen personskader   | 1<br>Svært liten             |

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for driftsforstyrrelser i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario A Brann i skap   |               |
|--|---------------|
| Hendelseskjede   | S.A.1 Inergen |
| Kommentar til konsekvens   |               |
| Kan være røykskader og brannskader på inventar og pasientrom.  |               |
| Hendelsen kan medføre behov for: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opprydning og nedvask av pasientrom</li> <li>• At inventar erstattes</li> <li>• Reset av sløkkesystem</li> <li>• Reparasjon av rom eller inventar</li> </ul>   |               |
| Kan medføre noe nedetid og forstyrrelse av drift.  |               |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |               |
| Brannutviklingen i forsøket hadde hurtigbrannvekst og oppnår relativt stor brannenergi, kan det medføre noe skade på himlingen som må repareres og ta noe tid. Det kan være behov å erstatte inventar rundt brannområde. Noe nedvask og utluftning vil også være nødvendig. Det blir antatt at hendelsen vil gjøre pasientrommet ubeboelig i en periode. |               |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens    |
| Nedetid 2 døgn til 1 uke. Viktige funksjon kan ikke opprettholdes eller omfattende ekstraordinære tiltak må iverksettes for å håndtere situasjonen   | 3<br>Middels  |



| Kvalitativ vurdering av konsekvens for driftsforstyrrelser i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario A Brann i skap   |                 |
|--|-----------------|
| Hendelseskjede   | S.A.1 Sprinkler |
| Kommentar til konsekvens   |                 |
| <p>Kan være røykskader og brannskader på inventar og må erstattes. Kan medføre store vannskader i pasientrom og på inventar.</p> <p>Hendelsen kan medføre behov for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Omfattende opprydding- og nedvask av rom.</li> <li>• At inventar erstattes</li> <li>• Reset av sløkkesystem</li> <li>• Omfattendereparasjon av rom eller inventar</li> <li>• Tørking av rom</li> </ul> <p>Kan medføre stor nedetid og forstyrrelser i drift.</p>   |                 |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                 |
| <p>Brannutviklingen i forsøket hadde hurtigbrannvekst og oppnår relativt stor brannenergi, kan det medføre noe skade på himlingen som må repareres og ta noe tid. Det kan være behov å erstatte inventar rundt brannområde. Fra forsøkene, analysegruppens vurdering og innspill fra hovedbrannvernleder på St-Olavs antas det at vannskadene etter utløst sprinkler vil medføre en omfattende opprydding, nedvask og tørketid før rommet blir beboelig og vil medføre store driftsforstyrrelser. Det antas at hendelsen kan medføre over 1 uke nedetid.</p> |                 |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens      |
| Nedetid mer enn 1 uke.   | 4<br>Stor       |

| Kvalitativ vurdering av konsekvenser for driftsforstyrrelser i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario B Brann i skap  |                   |
|---|-------------------|
| Hendelseskjede  | S.B.1 Inergen (C) |
| Kommentar til konsekvens  |                   |
| <p>Kan være røykskader og små brannskader i rom og på inventar:<br/>Hendelsen kan medføre behov for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opprydning og nedvask av pasientrom</li> <li>• At inventar erstattes</li> <li>• Reset av sløkkesystem</li> <li>• Reparasjon av rom eller inventar</li> </ul> <p>Kan medføre liten nedetid og forstyrrelse av drift.</p> |                   |
| Samlet begrunnelse for konsekvens   |                   |
| <p>Fra forsøkene blir det observert at Inergen slukker brannen i et veldig tidlig stadium. Inventaret som ble påsatt må erstattes og Inergen gassen må utluftes før rommet kan brukes. Det blir vurdert til at det kun må gjennomføres små tiltak som gir driftsforstyrrelse, men hendelsen ikke vil medføre nedetid.</p>   |                   |
| Beskrivelse av Konsekvens   | Konsekvens        |
| Ingen nedetid.  | 2<br>Liten        |

**Kvalitativ vurdering av konsekvens for driftsforstyrrelser i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario B Brann i skap**

Hendelseskjede | S.B.2 Sprinkler (D-1)

## Kommentar til konsekvens

Røykskader og brannskader på i rom og på inventar.

Hendelsen medføre behov for:

- Opprydning og nedvask av pasientrom
- At inventar erstattes
- Reparasjon av rom eller inventar

Kan medføre litt nedetid og forstyrrelse av drift.

## Samlet begrunnelse for konsekvens

I forsøkene ble ikke nok varmeenergi frigitt av brannen til å utløse sprinkler. Det er en rolig brannutvikling med relativt liten brannenergi hvor det antas at brannen vil bli slukket manuelt grunnet den raske responstiden til ansatte på avdelingen. Om det vil være behov for nedetid grunnet nedvask, baserer seg på hvor mye røyk brannen får frigitt før den blir slukket. Det blir vurdert at nedvask etter røykskader ikke vil kunne medføre med enn 2 døgn nedetid.

Inventaret som ble påsatt må erstattes, men den det

## Beskrivelse av Konsekvens

## Konsekvens

Nedetid &gt; 2 døgn

2

Liten

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for driftsforstyrrelser i pasientrom fra brannforsøk Brannscenario B Brann i skap   |                    |
|--|--------------------|
| Hendelseskjede   | S.B.3,4 og S.A.3,4 |
| Kommentar til konsekvens   |                    |
| <p>Brann oppstår, men barrierer hindrer utvikling.</p> <p>Hendelsen kan medføre behov for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liten litt opprydning eller nedvask av rom</li> <li>• At inventar erstattes</li> </ul> <p>Kan medføre svært lite nedetid og forstyrrelse av drift.</p> |                    |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                    |
| Blir brannen oppdaget eller forsøket på å antenne noe av inventaret blir stoppet av eksisterende barrierer. Disse hendelseskjedene blir vurdert til at det ikke er noe fare for nedetid-   |                    |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens         |
| Ingen nedetid  | 1<br>Svært liten   |

Kvalitativ vurdering av konsekvens for **Økonomiske konsekvenser** av slokkesystem brannscenario A

Hendelseskjede | S.A.1 Inergen

Kommentar til konsekvens

Kan være røykskader og brannskader på inventar og pasientrom.

Av kostnadmessige hensyn vil ofte et Inergen slokkesystem være designet til å dekke et større areal som en seksjon/avdeling i et helhetlig system. Det medfører at om anlegget utløser, vil gass bli sluppet ut i hele seksjonen og ikke bare det rommet det er detektert brann. Kostnadene ved reset av Inergen slokkesystem tas det derfor høyde for dette. En seksjon var planlagt å dekke 500m<sup>3</sup>.

Hendelsen kan medfører behov for:

- Opprydning og nedvask av pasientrom
- At inventar erstattes
- Reset av slokkesystem
- Reparasjon av rom eller inventar

Samlet begrunnelse for konsekvens

Den hurtige brannutviklingen kan medføre noen brannskader på inventar, kostnader estimert til 0-10000 kr, kostandene for etterfylling av Inergen-sylindre estimeres til 60000 kr.

Beskrivelse av Konsekvens

Økonomiske konsekvenser 50 000 – 100 000 kr.

Konsekvens

2  
Liten

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for Økonomiske konsekvenser av slokkesystem brannscenario A  |                  |
|---|------------------|
| Hendelseskjede  | S.A.1 Sprinkler  |
| Kommentar til konsekvens  |                  |
| Kan være røykskader og brannskader på inventar og må erstattes. Kan medføre store vannskader i pasientrom og på inventar.   |                  |
| Hendelsen kan medføre behov for: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Omfattendeoppyrdding- og nedvask av rom.</li> <li>• At inventar erstattes</li> <li>• Reset av slokkesystem</li> <li>• Omfattendereparasjon av rom eller inventar</li> </ul> |                  |
| Samlet begrunnelse for konsekvens   |                  |
| Den hurtige brannutviklingen kan medføre noen brannskader på inventar, kostander estimert til 0-10000 kr, kostnadene for vannskader estimeres til 0-20000kr, kostandene for reset av sprinkler estimeres til 2500-5000 kr                             |                  |
| Beskrivelse av Konsekvens   | Konsekvens       |
| Økonomiske konsekvenser 0-50 000 kr.  | 1<br>Svært liten |

Kvalitativ vurdering av konsekvens for **Økonomiske konsekvenser** av slokkesystem brannscenario B

Hendelseskjede | S.B.1 Inergen (C)

Kommentar til konsekvens

Kan være røykskader og små brannskader i rom og på inventar:

Av kostnadmessige hensyn vil ofte et inergen slokkesystem være designet til å dekke et større areal som en seksjon/avdeling i et helhetlig system. Det medfører at om anlegget utløser, vil gass bli sluppet ut i hele seksjonen og ikke bare det rommet det er detektert brann. Kostnadene ved reset av inergen slokkesystem tas det derfor høyde for dette.

Hendelsen kan medfører behov for:

- Opprydning og nedvask av pasientrom
- At inventar erstattes
- Reset av slokkesystem
- Reparasjon av rom

Samlet begrunnelse for konsekvens

Kostnader av brannskader på inventar estimert til 0-5000 kr, kostandene for etterfylling av Inergen-sylindre estimeres til 60 000 kr.

Beskrivelse av Konsekvens

Konsekvens

Økonomiske konsekvenser 50 000 – 100 000 kr

2

Liten

| Kvalitativ vurdering av konsekvens for Økonomiske konsekvenser av slokkesystem brannscenario B   |                       |
|--|-----------------------|
| Hendelseskjede   | S.B.2 Sprinkler (D-1) |
| Kommentar til konsekvens   |                       |
| <p>Store røykskader og brannskader på i rom og på inventar.</p> <p>Hendelsen medføre behov for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opprydning og nedvask av pasientrom</li> <li>• At inventar erstattes</li> <li>• Reparasjon/renovasjon av rom</li> </ul> |                       |
| Samlet begrunnelse for konsekvens  |                       |
| Kostnader av brannskader på inventar estimert til 0-20 000 kr  |                       |
| Beskrivelse av Konsekvens  | Konsekvens            |
| Økonomiske konsekvenser 0-50 000kr   | 1<br>Svært liten      |



